

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Monika Santo

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**ANALIZA DINAMIČKE
METODE PRORAČUNA
POTREBNE TOPLINSKE
ENERGIJE ZGRADE**

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Monika Santo

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Damiru Doviću i asistentu mag. ing. Ivanu Horvatu na stručnoj pomoći i strpljenju tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i dečku Karlu koji su mi bili podrška tijekom mog studiranja.

Monika Santo



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Monika Santo**

Mat. br.: 0035177670

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza dinamičke metode proračuna potrebne toplinske energije zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of dynamic method for calculating building energy needs**

Opis zadatka:

U sklopu diplomskog rada potrebno je izraditi algoritam za proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje zgrade, primjenjujući satni dinamički model iz nove norme ISO/DIS 52016-1 i pripadajućeg Tehničkog izvještaja.

Temeljem razvijenog algoritma i odgovarajućeg računalnog programa, potrebno je provesti proračune potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje za odabrani model zgrade, i to pri najmanje dvije razine toplinske zaštite.

Rezultate usporediti s proračunima provedenim 'mjesečnom' i 'jednostavnom satnom' metodom iz norme HRN EN 13790 primijenjene u javno dostupnom Algoritmu za određivanje energetskog svojstva zgrade.

Satne proračune je potrebno provesti za jedan uprosječen dan u svakom mjesecu u godini.

U proračunima koristiti javno dostupne satne i mjesečne meteorološke podatke za područje Zagreba.

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

24. rujna 2015.

Rok predaje rada:

26. studenog 2015.

Predviđeni datumi obrane:

2., 3. i 4. prosinca 2015.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Dović

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	III
POPIS SLIKA	V
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS DIJAGRAMA	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	XIII
SUMMARY	XIV
1. UVOD.....	1
2. OPIS SATNE METODE ISO/DIS 52016-1	2
2.1. Uvod.....	2
2.2. Glavne razlike stare i nove „satne“ metode proračuna	3
2.3. Glavne razlike između „satne“ i „mjesečne“ metode proračuna	5
2.4. Greške u proračunu	5
2.5. Opis jednadžbi korištenih u „satnoj“ metodi ISO 52016.....	6
2.5.1. Toplinska ravnoteža zone.....	7
2.5.2. Toplinska ravnoteža na razini elemenata zgrade	9
2.5.2.1. Unutarnji čvor	10
2.5.2.2. Čvorovi međuslojeva	11
2.5.2.3. Vanjski čvor	12
2.5.3. Distribucija toplinskih i solarnih svojstava preko čvorova.....	13
2.6. Rubni uvjeti za slične zone	14
3. POSTUPAK PRORAČUNA POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE PO ISO/DIS 52016- 1	15
3.1. Uvod.....	15
3.2. Period inicijalizacije i iteracija.....	16
3.3. Izračun operativne temperature.....	17
3.4. Matematičko modeliranje	17
4. PROCJENA VALJANOSTI DINAMIČKE METODE PRORAČUNA	19
4.1. Opis ulaznih podataka	19
4.2. Rezultati procjene valjanosti	23

5. PRORAČUN POTREBNE TOPLISNKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZA ZGRADU.....	26
5.1. Geometrijsko-građevinske karakteristike zgrade	26
5.2. Vrijednosti ostalih ulaznih podataka korištenih u proračunu.....	29
5.3. Solarni parametri	30
5.4. Rezultati dinamičke metode proračuna potrebne toplinske energije za zgradu	31
6. ANALIZA DINAMIČKE METODE PRORAČUNA POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZA ZGRADU PREMA NORMI ISO/DIS 52016 -1	52
7. ZAKLJUČAK.....	65
LITERATURA.....	66
PRILOZI.....	67

POPIS SLIKA

Slika 1. RC model po EN ISO 13790.....	4
Slika 2. Prikaz kako mjesečna uprosječenja mogu biti problematična, pogotovo kada satna opterećenja imaju dominantnu ulogu na toplinsku ravnotežu.....	5
Slika 3. RC model prema normi ISO/DIS 52016-1	6
Slika 4. Ilustracija proračuna unutarnje temperature zraka.....	7
Slika 5. Ilustracija građevnog elementa i njemu pripadajućeg RC modela	9
Slika 6. Toplinski tokovi površine koju omeđuju dva kruta sloja.....	11
Slika 7. Toplinski tokovi vanjske površine građevnog elementa.....	12
Slika 8. Rubni uvjeti za pregradni zid	14
Slika 9. Model proračunske zone (sobe)	19
Slika 10. Tlocrt i pročelje kuće	26

POPIS TABLICA

Tablica 1. Površine građevnih elemenata.....	19
Tablica 2. Definirani građevni slojevi proračunske zone.....	20
Tablica 3. Solarne karakteristike	20
Tablica 4. Solarni parametri proračunske zone	21
Tablica 5. Solarno zračenje, vanjske temperature i unutarnji dobici za proračunsku zonu	22
Tablica 6. Operativne temperature	23
Tablica 7. Ulazni podaci za konvektivne faktore	25
Tablica 8. Površine građevnih elemenata.....	27
Tablica 9. Definirani građevni slojevi proračunske zone.....	27
Tablica 10. Raspodjela toplinskih otpora i kapaciteta.....	28
Tablica 11. Ulazni parametri za plošne toplinske otpore R_s , koeficijente prolaska topline konvekcijom h_c i koeficijente prolaska topline zračenjem h_{lr}	29
Tablica 12. Ulazni parametri za infiltraciju i unutarnje dobitke	30
Tablica 13. Solarni parametri	30
Tablica 14. Rezultati potrebne toplinske energije za grijanje	49
Tablica 15. Rezultati potrebne toplinske energije za hlađenje	50
Tablica 16. Toplinski otpori i kapaciteti za 1. slučaj	53
Tablica 17. Rezultati potrebne toplinske energije za grijanje za 1. slučaj	55
Tablica 18. Rezultati potrebne toplinske energije za hlađenje za 1. slučaj	56
Tablica 19. Ulazni podaci za 3. slučaj.....	61

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Rezultati operativnih temperatura po modelu iz norme ISO/DIS 52017-1 i norme EN ISO 13790	24
Dijagram 2. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u siječnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	31
Dijagram 3. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema sjeveru za uprosječni dan u siječnju	32
Dijagram 4. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema jugu za uprosječni dan u siječnju.....	33
Dijagram 5. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema istoku za uprosječni dan u siječnju	33
Dijagram 6. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u siječnju	34
Dijagram 7. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova unutarnjeg zida za uprosječni dan u siječnju.....	34
Dijagram 8. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u siječnju	35
Dijagram 9. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema sjeveru za uprosječni dan u siječnju	35
Dijagram 10. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema jugu za uprosječni dan u siječnju.....	36
Dijagram 11. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema istoku za uprosječni dan u siječnju	36
Dijagram 12. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova poda za uprosječni dan u siječnju	37
Dijagram 13. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova stropa za uprosječni dan u siječnju.....	37
Dijagram 14. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u veljači prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	38
Dijagram 15. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u ožujku prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	38
Dijagram 16. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u travnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	39
Dijagram 17. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u travnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	39
Dijagram 18. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u svibnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	40
Dijagram 19. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u lipnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	40
Dijagram 20. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u srpnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	41
Dijagram 21. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u kolovozu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	41
Dijagram 22. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema sjeveru za uprosječni dan u kolovozu.....	42

Dijagram 23. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema jugu za uprosječni dan u kolovozu	42
Dijagram 24. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema istoku za uprosječni dan u kolovozu.....	43
Dijagram 25. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u kolovozu	43
Dijagram 26. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova unutarnjeg zida za uprosječni dan u kolovozu	44
Dijagram 27. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova prozora orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u kolovozu	44
Dijagram 28. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova poda za uprosječni dan u kolovozu	45
Dijagram 29. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova stropa za uprosječni dan u kolovozu	45
Dijagram 30. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u rujnu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	46
Dijagram 31. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u listopadu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	46
Dijagram 32. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u listopadu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	47
Dijagram 33. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u studeni prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	47
Dijagram 34. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u prosincu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790.....	48
Dijagram 35. Usporedba potrebne toplinske energije za grijanje za tri metode	49
Dijagram 36. Usporedba potrebne toplinske energije za hlađenje za tri metode	50
Dijagram 37. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u siječnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 1. slučaju	53
Dijagram 38. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u kolovozu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 1. slučaju	54
Dijagram 39. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u veljači prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 za 2. slučaj.....	58
Dijagram 40. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u listopadu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 2. slučaju	58
Dijagram 41. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u prosincu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 3. slučaju	60
Dijagram 42. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u siječnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 4. slučaju	61
Dijagram 43. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u srpnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 4. slučaju	62
Dijagram 44. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u veljači prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 5. slučaju	63
Dijagram 45. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u srpnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 5. slučaju	64

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_j	m^2	površina elementa zgrade
$A_{use;zi}$	m^2	površina grijanog dijela zgrade
A_{wi}	m^2	površina prozora
A_{elk}	m^2	površina elementa zgrade elk u zoni zi
A_{tot}	m^2	zbroj svih površina elemenata zgrade $elk=1.., eln$
A_{eli}	m^2	površina elementa eli zone zi
$C_{int;zi}$	J/K	unutarnji kapacitet zraka zone
C_i	J/kgK	toplinski kapacitet čvora i
c_a	J/kgK	specifični toplinski kapacitet zraka
c_p	J/kgK	specifični toplinski kapacitet građevnog sloja
d	m	debljina građevnog sloja
$F_{sh;ob;eli;t}$	-	faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja
$F_{fr;wi}$	-	udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
$f_{int,c}$	-	konvektivni faktor unutarnjih dobitaka
$f_{sol,c}$	-	konvektivni faktor solarnih dobitaka
$f_{H/C,c}$	-	konvektivni faktor sustava grijanja/hlađenja
f_{sa}	-	faktor koji opisuje dio solarnih dobitaka koji ulaze kroz prozirne elemente u proračunsku zonu koji direktno utječu na unutarnji zrak
f_{sl}	-	faktor koji opisuje dio solarnog zračenja koji se reflektira u okoliš
$g_{gl;wi;t}$	-	ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente wi , u vremenskom intervalu t
$H_{ve;vei;zi;t}$	W/K	ukupni koeficijent izmjene topline ventilacijom zone zi
$H_{i,i+1}$	W/K	provođenje između čvora i i čvora $i+1$
$h_{ci;eli}$	J/m^2K	unutarnji koeficijent prolaska topline konvekcijom za element zgrade eli zone zi
$h_{pli;eli}$	W/m^2K	provođenje između čvora pli i čvora $pli+1$ elementa eli
$h_{ri;eli}$	W/m^2K	unutarnji koeficijent prolaska topline zračenjem za element zgrade eli u zoni zi
$h_{c;e}$	W/m^2K	koeficijent prolaska topline konvekcijom na vanjskoj strani zida
$h_{c;i}$	W/m^2K	koeficijent prolaska topline konvekcijom na unutarnjoj strani zida
$h_{pli-1;eli}$	W/m^2K	provođenje između čvora $pli-1$ i čvora pli elementa eli
$h_{ce;eli}$	W/m^2K	vanjski koeficijent prolaska topline konvekcijom za element zgrade eli u zoni zi

$h_{re;eli}$	W/m ² K	vanjski koeficijent prolaska topline zračenjem za element zgrade <i>eli</i> u zoni <i>zi</i>
$Q_{C;nd;zi;t}$	kWh	potrebna energija za hlađenje u zoni <i>zi</i> u trenutku <i>t</i>
$Q_{H;nd;zi;t}$	kWh	potrebna energija za grijanje u zoni <i>zi</i> u trenutku <i>t</i>
$q_{sr,e}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka apsorbiranog kratkovalnog zračenja na vanjskoj strani
$q_{sr,i}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka apsorbiranog kratkovalnog zračenja na unutarnjoj strani
$q_{lr,e}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka dugovalnog zračenja izmijenjena s ostalim vanjskim površinama
$q_{lr,i}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka dugovalnog zračenja izmijenjena s ostalim unutarnjim površinama
$q_{i,r,e}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka zračenjem zbog unutarnjih dobitaka na vanjskoj strani
$q_{i,r,i}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka zračenjem zbog unutarnjih dobitaka na unutarnjoj strani
$q_{HC;nd;r,e}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka zračenjem zbog grijanja ili hlađenja na vanjskoj strani
$q_{HC;nd;r,i}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka zračenjem zbog grijanja ili hlađenja na unutarnjoj strani
$q_{lr,j}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka dugovalnog zračenja
$q_{sr,j}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka apsorbiranog kratkovalnog zračenja
$q_{c,j}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka koji se konvekcijom prenosi na zrak
$q_{cd,j}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka koji se prenosi provođenjem
$q_{cd,j-1}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka provođenjem od površine <i>j-1</i>
$q_{cd,j+1}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka provođenjem od površine <i>j+1</i>
$q_{sr,j}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka kao posljedica solarnog zračenja apsorbiranog na površini <i>j</i>
$q_{int;Oc;t}$	W/m ²	specifični unutarnji dobici zbog stanara
$q_{int;A;t}$	W/m ²	specifični unutarnji dobici zbog topline od uređaja
$q_{int;L;t}$	W/m ²	specifični unutarnji dobici zbog rasvjete
$q_{int;WA;t}$	W/m ²	specifični unutarnji dobici zbog otpadne topline iz sustava s toplom vodom
$q_{int;HVAC;t}$	W/m ²	specifični unutarnji dobici zbog sustava ventilacije, grijanja i hlađenja
$q_{int;Proc;t}$	W/m ²	specifični unutarnji dobici zbog unutarnjih dobara
$q_{lr,j}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka dugovalnog zračenja izmijenjena s ostalim unutarnjim površinama
$q_{HC;nd;r}$	W/m ²	gustoća toplinskoga toka koji se prenosi zračenjem zbog osjetne topline grijanjem ili hlađenjem
$q_{ve,k}$	m ³ /s	protok zraka koji ulazi u proračunsku zonu
$q_{c,i}$	W/m ²	gustoća toplinskog toka konvekcijom na unutarnjim površinama
$R_{c;eli}$	m ² K/W	toplinski otpor neprozirnih elemenata (zidova, krova i poda) <i>eli</i>

$R_{s,i}$	$\text{m}^2\text{K/W}$	unutarnji plošni toplinski otpor prozora i vrata
$R_{s,e}$	$\text{m}^2\text{K/W}$	vanjski plošni toplinski otpor prozora i vrata
U_{eli}	$\text{W/m}^2\text{K}$	koeficijent prolaska topline prozora i vrata
$a_{sr;pl;eli}$	-	apsorpcijski koeficijent za element zgrade <i>eli</i>
$\theta_{pli=1;eli;zi;t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>pli=1</i> elementa zgrade <i>eli</i> u zoni <i>zi</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\theta_{pli;eli;zi;t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura na čvoru <i>pli</i> elementa zgrade <i>eli</i> u zoni <i>zi</i> u vremenskom trenutku <i>t</i>
$\vartheta_{i,t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>i</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\vartheta_{i+1,t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>i+1</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\vartheta_{i,t-1}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>i</i> u vremenskom intervalu <i>t-1</i>
$\theta_{int;a;zi;t-1}$	$^{\circ}\text{C}$	unutarnja temperatura zraka u zoni u vremenskom intervalu <i>t-1</i>
$\theta_{1;eli;t}$	$^{\circ}\text{C}$	unutarnja površinska temperatura elementa zgrade <i>eli</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\theta_{sup;vei;zi;t}$	$^{\circ}\text{C}$	opskrba temperatura koja kroz ventilacijski tok ulazi u zonu <i>zi</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\theta_{e;air;t}$	$^{\circ}\text{C}$	vanjska temperatura zraka
$\theta_{pli+1;eli;t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>pli+1</i> elementa zgrade <i>eli</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\theta_{pli-1;eli;t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>pli-1</i> elementa zgrade <i>eli</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\theta_{pli;eli;t-1}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura čvora <i>pli</i> elementa zgrade <i>eli</i> u vremenskom intervalu <i>t-1</i>
$\theta_{e;air;t}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura zraka na vanjskoj strani u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\theta_{a;i}$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura zraka u susjednoj zoni
$\theta_{int;op;upper;zi;t}$	$^{\circ}\text{C}$	unutarnja operativna temperatura u zoni <i>zi</i> u trenutku <i>t</i> s maksimalnom raspoloživom snagom grijanja i hlađenja
$\theta_{int;set;set}$	$^{\circ}\text{C}$	unutarnja postavna temperatura u zoni <i>zi</i> u trenutku <i>t</i>
$\theta_{int;op;0;zi;t}$	$^{\circ}\text{C}$	unutarnja operativna temperatura u zoni <i>zi</i> u trenutku <i>t</i> bez potrebe za grijanjem ili hlađenjem
κ_{int}	$\text{J/m}^2\text{K}$	specifični toplinski kapacitet zraka i namještaja
$\kappa_{pli;eli}$	$\text{J/m}^2\text{K}$	specifični toplinski kapacitet čvora <i>pli</i> elementa zgrade <i>eli</i>
$\kappa_{m;eli}$	$\text{J/m}^2\text{K}$	specifični toplinski kapacitet elementa zgrade <i>eli</i>
λ	W/mK	koeficijent toplinske vodljivosti
ρ_a	kg/m^3	gustoća unutarnjeg zraka
ρ	kg/m^3	gustoća građevnog sloja
$\Phi_{i,t}$	W	snaga dovedena čvoru <i>i</i> u vremenskom intervalu <i>t</i>
$\Phi_{sky;eli}$	W	toplinski tok zračenjem prema nebu elementa zgrade <i>eli</i>
Φ_V	W	toplinski tok ventilacijom
$\Phi_{int;c}$	W	konvekcijski dio toplinskog toka unutarnjih dobitaka
$\Phi_{HC;nd;c}$	W	konvekcijski dio toplinskog toka zbog potrebne osjetne snage za grijanje i hlađenje

Φ_{sa}	W	solarni toplinski tok koji se direktno predaje unutaranjem zraku
Φ_{tb}	W	toplinski tok uzrokovan toplinskim mostovima
$\Phi_{H,max}$	W	raspoloživa snaga grijanja
$\Phi_{C,max}$	W	raspoloživa snaga hlađenja
$\Phi_{HC,max;zi;t}$	W	maksimalno raspoloživa snaga grijanja i hlađenja
$\Phi_{HC;upper;zi;t}$	W	maksimalno raspoloživa snaga grijanja i hlađenja
$\Phi_{HC;nd;un;zi;t}$	W	neograničena snaga za grijanje i hlađenje kako bi se postigla zahtijevana unutarnja postavna temperatura u zoni zi u trenutku t
$\Phi_{HC;nd;zi;t}$	W	potrebna snaga za grijanje i hlađenje u zoni zi u trenutku t
$\Phi_{H;nd;zi;t}$	W	potrebna snaga za grijanje u zoni zi u trenutku t
$\Phi_{C;nd;zi;t}$	W	potrebna snaga za hlađenje u zoni zi u trenutku t
$\Psi_{ki;zi}$	W/mK	linearni toplinski otpor toplinskog mosta ki u zoni zi u vremenskom intervalu t

SAŽETAK

U radu je analiziran proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje prema normi ISO/DIS 52016-1. Analizirane su formule i napisan je algoritam u računalnom programu VBA te su dane upute za njegovo daljnje korištenje. Izvedena je validacija dinamičke metode proračuna potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje prema modelu opisanom u normi ISO/DIS 52017-1. Također, analiziran je proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje stambene kuće. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa rezultatima proračuna po „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi po normi EN ISO 13790. Odstupanja u rezultatima po normi ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 analizirana su u nekoliko slučajeva.

Ključne riječi: proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje, jednostavna satna metoda, satna metoda po normi ISO/DIS 52016-1

SUMMARY

This thesis analyzes the calculation of the necessary thermal energy needs for heating and cooling according to ISO / DIS 52016. Formulas were analysed and algorithm was written in a computer program VBA, instructions for further use are also given. Validation of the dynamic calculation methods of thermal energy needs for heating and cooling is carried out through the comparison against the model described in ISO/DIS 52017-1. Analysis of calculation of the necessary thermal energy needs for heating and cooling of a residential building is made. The results are compared against the calculation results obtained by "simple hourly" and "monthly" calculation procedure according to EN ISO 13790. Variations in the results were analyzed in several cases.

Key words: analysis of thermal energy needs for heating, „simple hourly“ method, „hourly“ method according to ISO/DIS 52016-1

1. UVOD

Globalne klimatske promjene i sve više cijene energenata glavni su razlozi za promjene naših energetske potrošačkih navika. Cilj Europska unije (EU) je do 2050. radikalno smanjiti emisiju stakleničkih plinova od oko 80-95% u usporedbi s razinama iz 1990. S obzirom da zgrade čine oko 40% ukupne potrošnje energije i odgovorne su za 36% emisija ugljičnog dioksida, energetske učinkovite stambene zgrade i kuće postaju sve zanimljivije, a njihovi koncepti sve raznolikiji.

Direktiva o energetske svojstvima zgrada (EPBD) 2010/31/EU propisuje uspostavu zajedničkog postupka za izračunavanje energetske učinkovitosti kroz niz CEN standarda. Jedan od njih je i HR EN ISO 13790 "Toplinske značajke zgrada - Proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje prostora". Prema EN ISO 13790, tri su pristupa proračunu potrošnje energije za grijanje i hlađenje s obzirom na vremenski korak proračuna:

- kvazistacionarni proračun na bazi sezonskih vrijednosti
- kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti
- dinamički proračun s vremenskim korakom od jednog sata ili kraćim

Kod energetske certificiranja zgrada, za proračun $Q_{HC,nd}$ se najčešće koristio kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti. No tijekom godina uočeno je da rezultati proračuna po „mjesečnoj“ metodi odstupaju od rezultata proračuna po „satnoj“ metodi za zgrade koje imaju sustave mehaničke pripreme zraka (poslovne zgrade, bolnice, škole itd.). Iz navedenog razloga za određivanje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje takvih zgrada razvijena je Jednostavna satna metoda, opisana u normi EN ISO 13790. Glavne prednosti te metode, u odnosu na mjesečnu, su uzimanje u obzir dnevne promjene u temperaturi zraka, insolaciji te mogućnost uzimanje u obzir dnevne promjena rada HVAC sustava.

Kao nastavak na jednostavni satni proračun norme EN ISO 13790 razvijena je nova norma ISO/DIS 52016 "Toplinske značajke zgrada - Proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje prostora, proračun unutarnjih temperatura i opterećenja za grijanje i hlađenje za zgradu ili zonu" koja koristi satni dinamički model. Za objašnjenje, opravdanje i detaljan postupak izračuna uz normu izdana su dva tehnička izvještaja ISO/DIS 52016 i ISO/DIS 52017.

2. OPIS SATNE METODE ISO/DIS 52016-1

2.1. Uvod

Internacionalni Standard ISO/DIS 52016-1 razvijen je za proračun potrebne toplinske energije za grijanje ili hlađenje za stambene zgrade i za zgrade ostale namjene npr. industrijske zgrade, bazene, zgrade za razvoj agrokulture itd.. Razlika u proračunu između stambenih i nestambenih zgrada je u odabiru prikladnih ulaznih podataka.

U normi ISO 52016-1 predstavljena je nova satna metoda koja je poboljšana verzija „jednostavne satne“ metode iz norme EN ISO 13790:2008. Iako je način dolaženja do rezultata praktički identičan, nova satna metoda, zbog uzimanja u obzir većeg broja parametara, puno je složenija i kompliciranija od svoje prethodnice.

Cilj satne metode ISO/DIS 52016-1 je uzeti u obzir utjecaj satnih i dnevnih varijacija u vremenu, varijacije različitih sustava (solarne zaštite, opterećenja, unutarnjih dobitaka, akumulacije itd.) i njihove dinamičke utjecaje na sustav grijanja i hlađenja. U satnoj metodi ISO 52016-1 svaki element konstrukcije je modeliran zasebno. To dovodi do transparentnosti rubnih uvjeta na svakoj strani konstrukcije. Glavni cilj satne metode ISO/DIS 52016-1 nije bio povećati točnost proračuna, već uzeti u obzir specifičnost određenih konstrukcijskih elemenata i sveukupnu transparentnost metode.

Nedostatak proračuna po normi ISO/DIS 52016-1 je da zbog puno većeg broja čvorova („node“-ova) nije moguće doći do rješenja korištenjem samo tabličnog kalkulatora, već je potrebno razviti i računalni kod koji određuje potrebnu snagu za grijanje i hlađenje u svakom satu. Isto tako zbog puno većeg broja jednadžbi i nepoznanica koje se u svakom satu rješavaju samo vrijeme izračuna je puno dulje.

2.2. Glavne razlike stare i nove „satne“ metode proračuna

Jednostavna satna metoda ISO 13790:2008 je opisana sa ekvivalentnim električnim "RC" modelom u kojem su svi elementi zgrade podijeljeni u dva glavna toplinska otpora (za prozirne i neprozirne elemente) te postoji jedan toplinski kapacitet. Otpor kroz neprozirne elemente zgrade je podijeljeni na dva otpora. Dakle metoda sveukupno sadrži tri čvora („node-a“). U odnosu na jednostavnu satnu metodu sa tri čvora, ISO/DIS 52016-1 ne zahtjeva pretpostavke i aproksimacije s obzirom na unutarnju površinu temperaturu i „poziciju“ mase zgrade unutar modela, već je to transparentno i točno modelirano po konstrukciji.

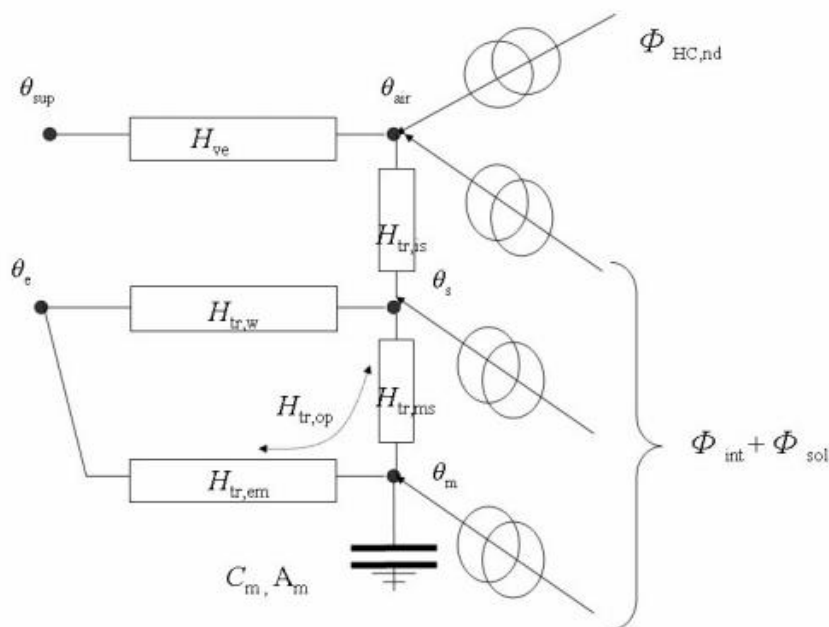
Važne prednosti i razlike ISO/DIS 52016-1 u odnosu na jednostavnu satnu metodu ISO 13790 su:

- prijenos topline kroz pod ne bi smio biti sveden zajedno kao prijenos topline kroz zidove
- prijenos topline kroz lakše konstrukcije ne bi smio biti sveden kao prijenos topline kroz masivnije konstrukcije, odnosno toplinski kapacitet zgrade ili zone se može specificirati po elementima zgrade i nema potrebe za proizvoljnim odabiranjem toplinskog kapaciteta zgrade ili zone
- postoji jasna razlika između temperature zraka i srednje unutarnje temperature površina itd.

Razlike u odnosu na ISO 13790:2008 su i mala izmjena mjesečnog proračuna i ukidanje sezonskog proračuna. Satni proračun unutarnje temperature, potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje i svi ulazni podaci prema ISO/DIS 52016-1 su gotovo isti kao u jednostavnoj satnoj metodi ISO 13790, ali su uzeti u obzir mnogi drugi ulazni parametri koji nastoje povećati točnost proračuna. Razlikuju se određene pretpostavke proračuna.

Jednostavna satna metoda ISO 13790:2008:

- jedan kombinirani neproziran element zgrade (koji uključuje i podnu konstrukciju)
- jedan toplinski kapacitet
- niz faktora koji će locirati toplinski kapacitet i srednju unutarnju temperaturu površina



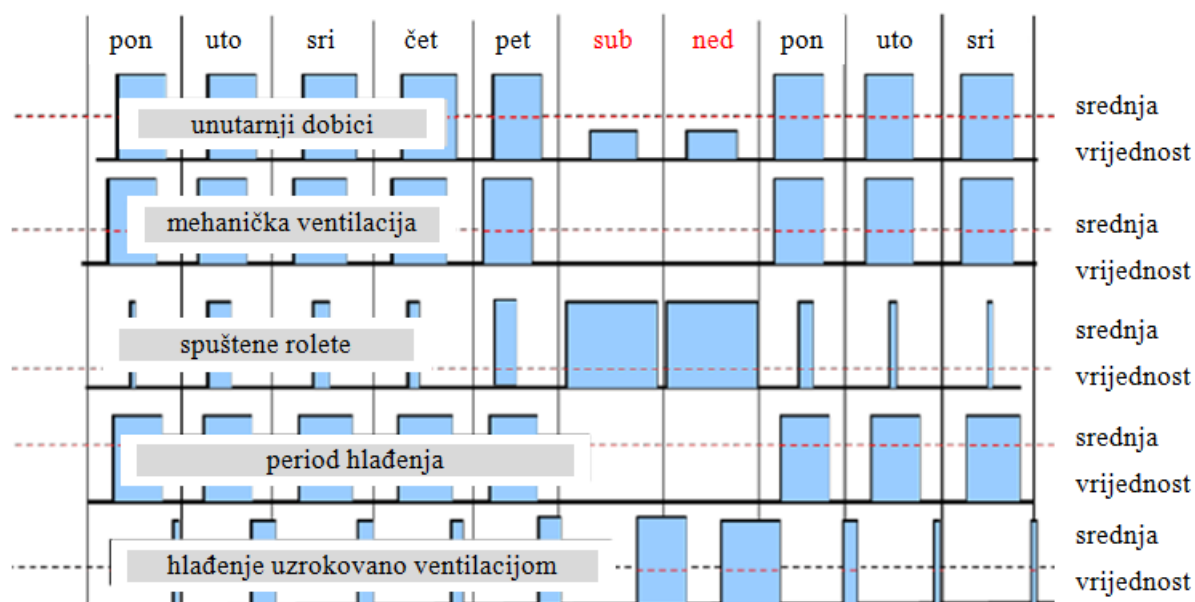
Slika 1. RC model po EN ISO 13 790

Satna metoda ISO 52016:

- svaki element zgrade se uzima zasebno
- odvojeni su prozirni i neprozirni elementi: prozori, vrata, zidovi, strop, pod....
- ne zahtjeva puno dodatnih ulaznih podataka u odnosu na “jednostavnu satnu” metodu ISO 13790
- svaki element zgrade ima vlastitu kategoriju toplinskog kapaciteta (laganu, tešku, masivnu itd.)
- svaki element zadržava vlastite vanjske rubne uvjete ovisno o poziciji (vanjski okoliš, zemlja, susjedna zona...)
- svaki element zgrade zadržava vlastito solarno zračenje ovisno o orijentaciji

2.3. Glavne razlike između „satne“ i „mjesečne“ metode proračuna

U odnosu na „mjesečnu“ metodu proračuna, „satna“ metoda ima dinamički utjecaj na unutarnje uvjete i toplinsku ravnotežu proračunske zone kroz promjene klimatskih podataka, promjene rada tehničkih sustava grijanja ili hlađenja, unutarnjih opterećenja zgrade zbog unutarnjih dobitaka itd. „Mjesečna“ metoda koristi uprosječene vrijednosti svih navedenih sustava i tu nastaju problemi jer takva uprosječenja dovode do odstupanja krajnjih rezultata između „satne“ i „mjesečne“ metode. Ova odstupanja su značajnija u prijelaznim mjesecima kada postoji potreba za grijanjem i hlađenjem (npr. travanj, listopad...). Problem „mjesečne“ metode oko uprosječenja svih sustava koji utječu na toplinsku stabilnost proračunske zone prikazan je na slici.



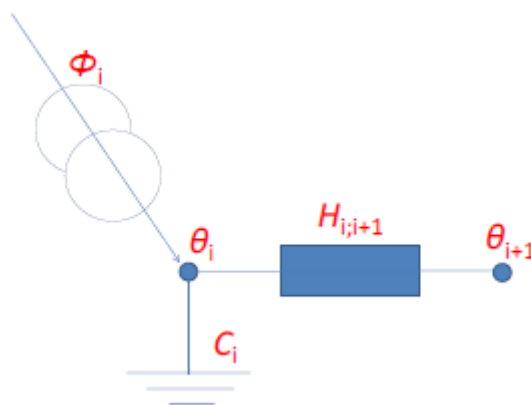
Slika 2. Prikaz kako mjesečna uprosječenja mogu biti problematična, pogotovo kada satna opterećenja imaju dominantnu ulogu na toplinsku ravnotežu

2.4. Greške u proračunu

Točnost metode, odnosno u kojoj mjeri rezultati proračuna odgovaraju stvarnoj potrebi zgrade, uglavnom ovisi o točnosti ulaznih podataka, a neki od tih podataka (npr. izmjena zraka) često nisu poznati. Nesigurnost ulaznih podataka širi se putem formula i jednadžbi, čime se općenito dobivaju veće relativne pogreške u rezultatima. Npr. pogreška od 5% u procjeni koeficijenta izmjene topline transmisijom i ventilacijom, rezultirat će pogreškom od oko 20% do 35% potrebne energije za grijanje i hlađenje.

2.5. Opis jednadžbi korištenih u „satnoj“ metodi ISO 52016

Prema „satnoj“ metodi ISO/DIS 52016 -1, potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje proračunava se tako da je svaki element zgrade podijeljen u konačan broj paralelnih slojeva i vremenski diferencijal se aproksimira diskretnim vremenskim intervalom na sljedeći način, koji je ilustriran jednim RC-modelom:



Slika 3. RC model prema normi ISO/DIS 52016-1

Diferencijalna jednadžba temperature kao funkcije vremena se aproksimira kao konačna razlika promjene temperature u vremenu:

$$C_i \frac{\partial \vartheta_i}{\partial t} \approx \frac{c_i}{\Delta t} (\vartheta_{i,t} - \vartheta_{i,t-1}) \quad (1)$$

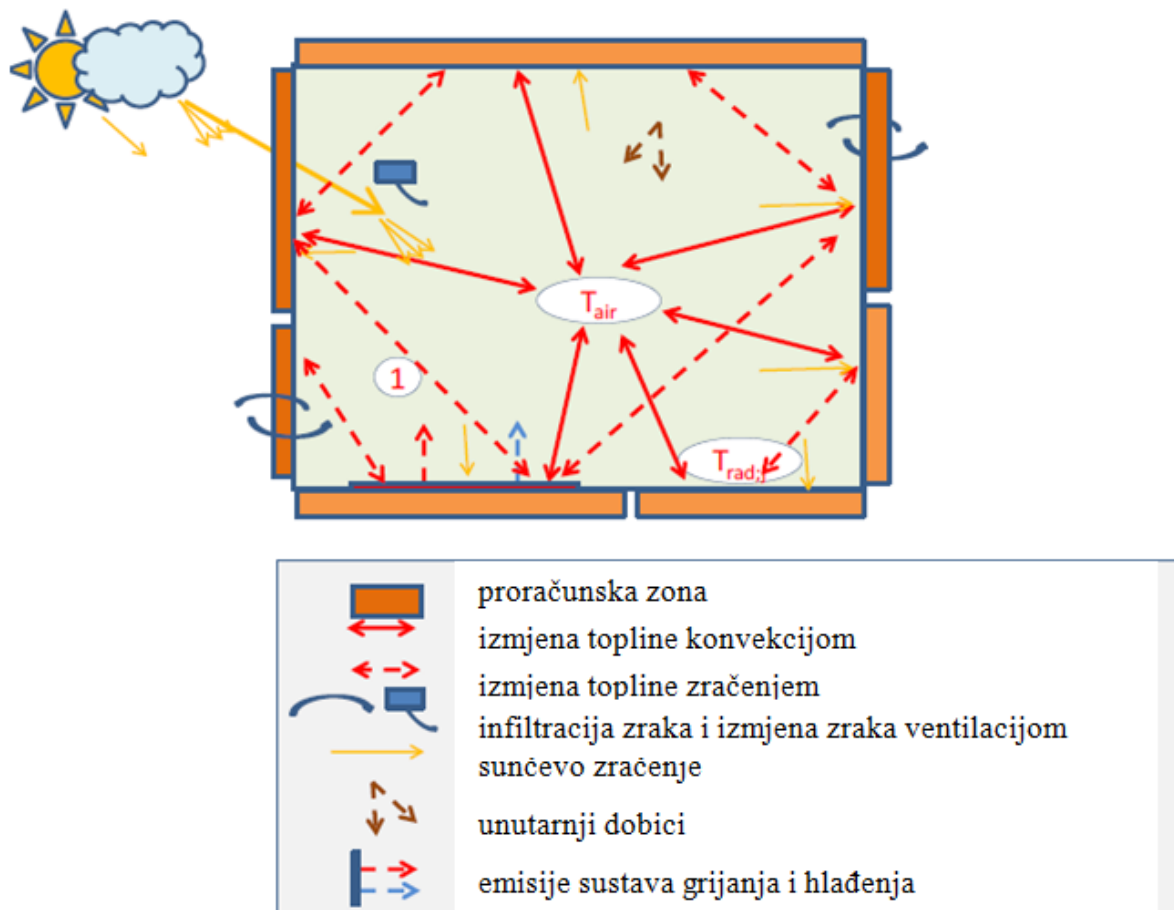
Na isti način se diferencijalna jednadžba za prostornu raspodjelu temperature aproksimira konačnim brojem elemenata otpora. Rezultat je sljedeća jednadžba toplinske ravnoteže za čvor i u vremenskom intervalu t :

$$\frac{c_i}{\Delta t} (\vartheta_{i,t} - \vartheta_{i,t-1}) = H_{i,i+1} \times (\vartheta_{i,t} - \vartheta_{i+1,t}) + \Phi_{i,t} \quad (2)$$

u [W].

Provođenje odgovara recipročnoj vrijednosti toplinskog otpora ("R"). Za element zgrade $H = A/R_C$, gdje je R_C toplinski otpor sloja određenog elementa zgrade po m^2 površine A elementa zgrade. U poglavljima koja slijede nalazi se opis jednadžbi koje opisuju toplinsku ravnotežu zone koja se sastoji nekoliko RC-modela.

2.5.1. Toplinska ravnoteža zone



Slika 4. Ilustracija proračuna unutarnje temperature zraka

Unutarnja temperatura zraka zgrade, u bilo kojem vremenskom trenutku, je rezultat rješavanje jednadžbe (3):

$$\sum_{j=1}^J (Aq_{c;i})_j + \Phi_V + \Phi_{int;c} + \Phi_{HC;nd;c} + \Phi_{sa} + \Phi_{va} + \Phi_{tb} = \rho_a c_a V_{a;i} \frac{\partial \theta_{a;i}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\Phi_{sa} = f_{sa}(1 - f_{sl})(\Phi_{sr;D} + \Phi_{sr;d}) \quad (4)$$

Raspisujući gornju jednadžbu dobivamo sljedeću jednadžbu za proračunsku zonu z_i omeđenu elementima zgrade $eli=1, \dots, eln$:

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{C_{int;zi}}{\Delta t} + \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} h_{ci;eli}) + \sum_{vei=1}^{ven} H_{ve;vei;zi;t} \right. \\
& \quad \left. + \sum_{tbi=1}^{tbn} (\Psi_{ki;zi} l_{ki:zi}) \right] \theta_{int;a;zi;t} - \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} h_{ci;eli} \theta_{1;eli;t}) \\
& = \frac{C_{int;zi}}{\Delta t} \theta_{int;a;zi;t-1} \\
& \quad + \sum_{vei=1}^{ven} (H_{ve;vei;zi;t} \theta_{sup;vei;zi;t}) + \sum_{tbi=1}^{tbn} (\Psi_{ki;zi} l_{ki:zi}) \theta_{e;air;t} \\
& \quad + f_{int,c} \Phi_{int;zi;t} + f_{sol,c} \Phi_{sol;zi;t} + f_{H/C,c} \Phi_{HC;zi;t}
\end{aligned} \tag{5}$$

$(\Psi_{ki;zi} l_{ki:zi})$ - izostavljeni iz proračuna

$$C_{int;zi} = \kappa_{int} A_{use;zi} \tag{6}$$

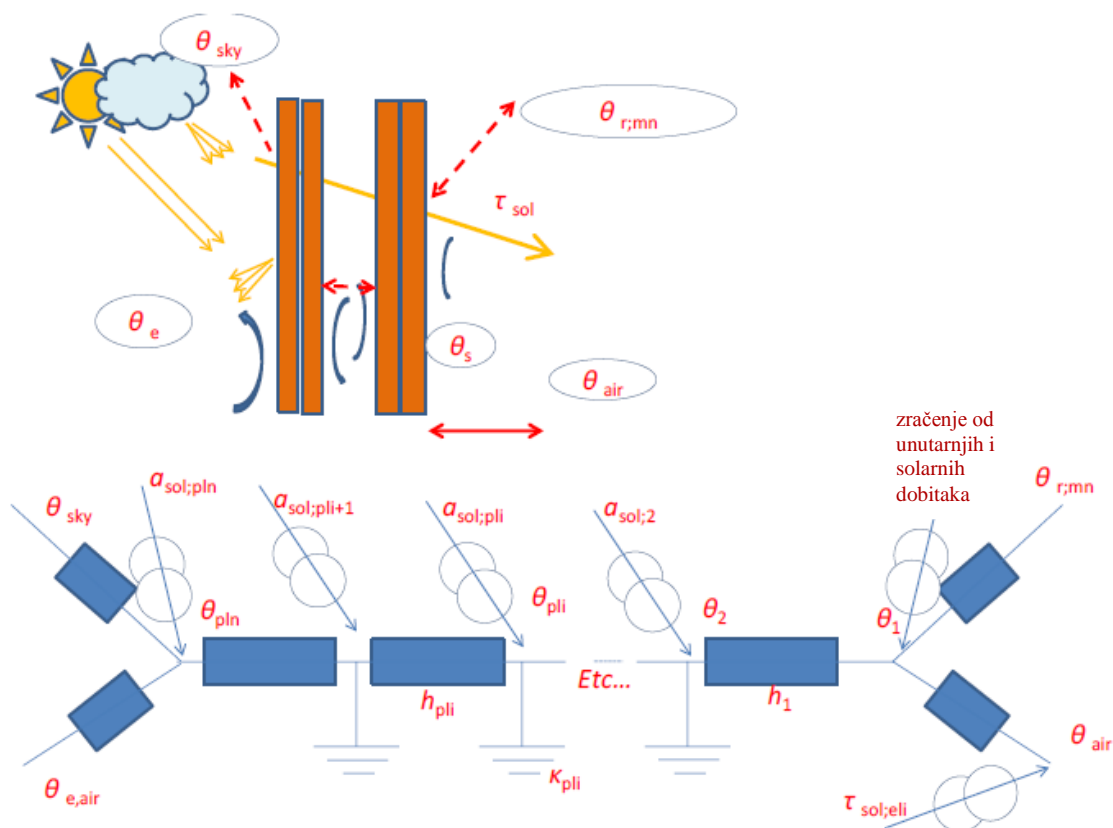
$$H_{ve} = \rho_a c_a q_{ve,k} \tag{7}$$

$$\Phi_{int;zi;t} = (q_{int;Oc;t} + q_{int;A;t} + q_{int;L;t} + q_{int;WA;t} + q_{int;HVAC;t} + q_{int;Proc;t}) A_{use;zi} \tag{8}$$

Unutarnji toplinski dobici sastoje se od konvektivne komponente $\Phi_{int;c}$ (3) i komponente koja odgovara dugovalnom zračenju $\Phi_{int;r}$ (9) za koju se pretpostavlja da je jednoliko raspoređena na sve unutarnje površine koje omeđuju proračunsku zonu zi , uključujući i prozore. Isto vrijedi i za toplinski tok zbog grijanja ili hlađenja $\Phi_{HC;nd}$ koji će se sastojati od konvektivne komponente $\Phi_{HC;nd;c}$ (3) i komponente koja odgovara dugovalnom zračenju $\Phi_{HC;nd;r}$ (9) za koju se pretpostavlja da je jednoliko raspoređena na sve unutarnje površine koje omeđuju proračunsku zonu zi , uključujući i prozore.

$$\Phi_{sol;zi;t} = \sum_{wi=1}^{win} [g_{gl;wi;t} (I_{sol;dif;wi;t} + I_{sol;dir;wi;t} F_{shob;eli;t}) A_{wi} (1 - F_{fr;wi})] \tag{9}$$

2.5.2. Toplinska ravnoteža na razini elemenata zgrade



Slika 5. Ilustracija građevnog elementa i njemu pripadajućeg RC modela

Svaki element zgrade je podijeljen u konačan broj paralelnih slojeva koji su odijeljeni čvorovima: za neprozirne elemente zgrade, broj čvorova iznosi 5, jedan se nalazi na unutarnjoj površini (usmjeren je prema zoni), tri čvora su raspodijeljena unutar samog elementa i jedan se nalazi na vanjskoj strani. Kod prozora i vrata, broj čvorova je 2, dakle uzete su u obzir samo temperature na unutarnjoj i vanjskoj površini. Svaki sloj između dva čvora ima određeni toplinski otpor i svaki čvor ima određeni toplinski kapacitet.

Za neprozirne elemente, jednadžbe za toplinsku ravnotežu za čvorove $p1i = 1 \dots 5$ dane su u jednadžbama (11), (13) i (15). Za prozore i vrata jednadžbe za toplinsku ravnotežu za čvorove $p1i = 1$ do 2 dane su u jednadžbama (11) i (15), te za njih ne vrijedi jednadžba (13).

2.5.2.1. Unutarnji čvor

za $pli=1$ (čvor usmjeren prema proračunskoj zoni zi)

Unutarnja površinska temperatura elementa zgrade j dobije se rješavajući navedenu jednadžbu:

$$q_{tr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} + q_{i,r} + q_{HC;nd;r} = 0 \quad (10)$$

$$q_{sr,j} = \frac{(1-f_{sa})(1-f_{sl})(\Phi_{sr;D} + \Phi_{sr;d})}{A} \quad (11)$$

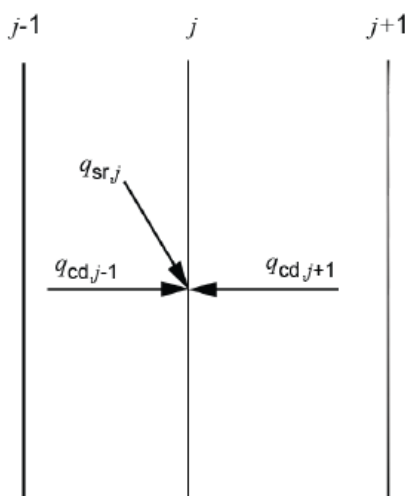
Raspisujući jednadžbu, dobivamo:

$$\begin{aligned} & -(h_{pli;eli}\theta_{pli+1;eli;t}) + \left[h_{ci;eli} + h_{ri;eli} \sum_{eln=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \right) + h_{pli;eli} \right] \theta_{pli;eli;t} - h_{ci;eli}\theta_{int;a;zi;t} \\ & - \sum_{eln=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} h_{ri;eli} \theta_{pli;elk;t} \right) \\ & = \frac{1}{A_{tot}} [(1 - f_{int,c})\Phi_{int;zi;t} + (1 - f_{sol,c})\Phi_{sol;zi;t} + (1 - f_{H/C,c})\Phi_{HC;zi;t}] \end{aligned} \quad (12)$$

2.5.2.2. Čvorovi međuslojeva

za $p_{li}=2, \dots, p_{ln}-1$ (vrijedi za svaki unutarnji čvor)

Temperatura površine j koju omeđuju dva različita sloja unutar određenog elementa zgrade, dobije se rješavajući jednadžbu (12):



Slika 6. Toplinski tokovi površine koju omeđuju dva kruta sloja

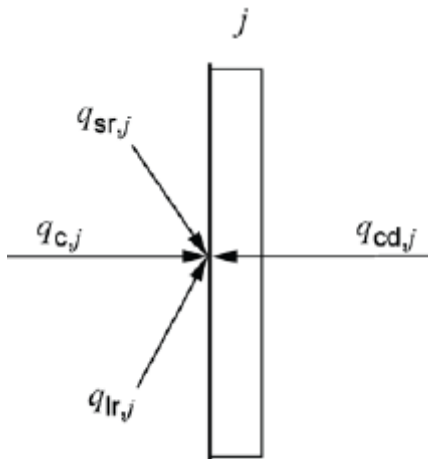
$$q_{cd,j-1} + q_{cd,j+1} + q_{sr,j} = 0 \quad (13)$$

raspisujući jednadžbu dobivamo:

$$\begin{aligned} -h_{pli;eli}\theta_{pli+1;eli;t} + \left[\frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} + h_{pli-1;eli} + h_{pli;eli} \right] \theta_{pli;eli;t} - h_{pli-1;eli}\theta_{pli-1;eli;t} \\ = \frac{\kappa_{pli;eli}}{\Delta t} \theta_{pli;eli;t-1} \end{aligned} \quad (14)$$

2.5.2.3. Vanjski čvor

Temperature površine j prikazane na slici, dobije se rješavajući jednadžbu :



Slika 7. Toplinski tokovi vanjske površine građevnog elementa

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} = 0 \quad (15)$$

raspisujući jednadžbu dobivamo:

$$(h_{ce;eli} + h_{re;eli} + h_{pli-1;eli})\theta_{pli;eli;t} - h_{pli-1;eli}\theta_{pli-1;eli;t} = (h_{ce;eli} + h_{re;eli})\theta_{e;air;t} + a_{sr;pl;eli}(I_{sol;dif;eli;t} + I_{sol;dir;eli;t}F_{shob;eli;t}) - \Phi_{sky;eli} \quad (16)$$

2.5.3. Distribucija toplinskih i solarnih svojstava preko čvorova

- za neprozirne elemente (zidovi, krovovi i podovi):

Za broj čvorova $pln = 5$, provođenje između čvora pli i čvora $pli+1$ se izračunava:

$$h_{pl1;eli} = h_{pl4;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}} \quad (17)$$

$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}} \quad (18)$$

Toplinski kapacitet čvora pli elementa eli po jedinici površine se dijeli na tri unutarnja čvora ovisno o klasi zgrade, s obzirom na masu u konstrukciji, odnosno:

Klasa I (koncentrirana na unutarnjoj (*internal*) strani):

$$\kappa_{pl2;eli} = \kappa_{m;eli} \quad (19)$$

$$\kappa_{pl1;eli} = \kappa_{pl3;eli} = \kappa_{pl4;eli} = \kappa_{pl5;eli} = 0$$

Klasa E (koncentrirana na vanjskoj (*external*) strani):

$$\kappa_{pl4;eli} = \kappa_{m;eli} \quad (20)$$

$$\kappa_{pl1;eli} = \kappa_{pl2;eli} = \kappa_{pl3;eli} = \kappa_{pl5;eli} = 0$$

Klasa M (koncentrirana u sredini (*middle*)):

$$\kappa_{pl3;eli} = \kappa_{m;eli} \quad (21)$$

$$\kappa_{pl1;eli} = \kappa_{pl2;eli} = \kappa_{pl4;eli} = \kappa_{pl5;eli} = 0$$

Klasa D (jednako raspoređena (*distributed*)):

$$\kappa_{pl2;eli} = \kappa_{pl3;eli} = \kappa_{pl4;eli} = \frac{\kappa_{m;eli}}{3} \quad (22)$$

$$\kappa_{pl1;eli} = \kappa_{pl5;eli} = 0$$

Isto vrijedi i za unutarnje pregrade ili građevinske elemente prema susjednim objektima ili zonama.

- za prozore i vrata:

Za broj čvorova $pli = 2$.

Provođenje između čvora $pl1$ i čvora $pl2$ se izračunava:

$$h_{pl1;eli} = \frac{1}{R_{c;eli}} \quad (23)$$

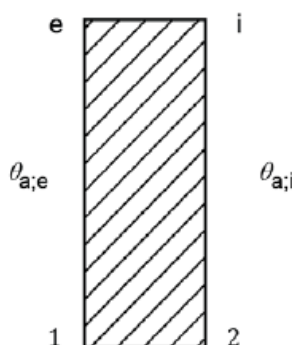
Toplinski otpor prozora i vrata izračunava se:

$$R_{c;eli} = \frac{1}{U_{eli}} - R_{s,i} - R_{s,e} \quad (24)$$

2.6. Rubni uvjeti za slične zone

Pregradni zid

Za pravilno postavljen model potrebno je jasno definirati uvjete na zidovima koji se nalaze unutar proračunske zone, odnosno za vertikalni unutarnji zid vrijedi:



Slika 8. Rubni uvjeti za pregradni zid

1 - zona sa istim uvjetima (slične zone)

2 – unutarnja zona

$$\theta_{a,e} = \theta_{a,i}$$

$$q_{sr,e} = q_{sr,i}$$

$$q_{lr,e} = q_{lr,i}$$

$$q_{i;r,e} = q_{i;r,i}$$

$$q_{HC;nd;r,e} = q_{HC;nd;r,i}$$

$$h_{c,e} = h_{c,i}$$

3. POSTUPAK PRORAČUNA POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE PO ISO/DIS 52016- 1

3.1. Uvod

Za svaki sat i i za svaku zonu izračunava se stvarna operativna temperatura $\theta_{int;op;ac;zi;t}$ i stvarna potreba za grijanjem ili hlađenjem $\Phi_{HC;nd;zi;t}$ prema sljedećem postupku:

1. Korak: Provjera ukoliko postoji potreba za grijanje/hlađenje

Uzima se vrijednost $\Phi_{HC;zi;t} = 0$ te se izračunava unutarnja operativna temperatura $\theta_{int;op;zi;t}$ koja se naziva $\theta_{int;op;0;zi;t}$. $\theta_{int;op;0;zi;t}$ je proračunski određena operativna temperatura unutar proračunske zone za slučaj kad sustav grijanja/hlađenja ne radi i pohranjuju se sve temperature pojedinih čvorova izračunate za taj uvjet kao početni korak za idući proračun.

Ako je $\theta_{int;set;H} \leq \theta_{int;op;0;zi;t} \leq \theta_{int;set;C}$ ne postoji potreba za grijanjem ili hlađenjem te vrijedi:

$$\Phi_{HC;zi;t} = 0 \text{ i } \theta_{int;op;ac;zi;t} = \theta_{int;op;0;zi;t}$$

Ukoliko je prethodni uvjet zadovoljen daljnji proračuni nisu potrebni. Ukoliko prethodni uvjet nije zadovoljen, potrebno je primijeniti korake 2 i 3.

2. Korak: Određivanje stvarne potrebe za grijanje/hlađenje

Ako je $\theta_{int;op;0;zi;t} > \theta_{int;set;C}$ uzima se $\theta_{int;set;set} = \theta_{int;set;C}$

Ako je $\theta_{int;op;0;zi;t} < \theta_{int;set;H}$ uzima se $\theta_{int;set;set} = \theta_{int;set;H}$

Te se izračunava unutarnja operativna temperatura uzimajući $\Phi_{HC;nd;zi;t} = \Phi_{HC;upper;zi;t}$. Ako je dostupna maksimalna snaga za grijanje ili hlađenje $\Phi_{HC;upper;zi;t} = \Phi_{HC;max;zi;t}$, ako nije onda je $\Phi_{HC;upper;zi;t} = 10 \times A_{use}$. Rezultirajuća operativna temperatura $\theta_{int;op;zi;t}$ se naziva $\theta_{int;op;upper;zi;t}$. Zbog pretpostavke linearnog odnosa potrebne snage za

grijanje/hlađenje i operativne temperature unutar proračunske zone određuje se potrebna snaga za grijanje/hlađenje.

$$\Phi_{HC;nd;un;zi;t} = \Phi_{HC;upper;zi;t} \frac{(\theta_{int;set;set} - \theta_{int;op;0;zi;t})}{(\theta_{int;op;upper;zi;t} - \theta_{int;op;0;zi;t})} \quad (25)$$

3. Korak: Provjera dostupnosti potrebne snage za grijanje/hlađenje

Ako je $-\Phi_{C,max} < \Phi_{HC;nd;un;zi;t} < \Phi_{H,max}$ uzima se $\Phi_{HC;nd;zi;t} = \Phi_{HC;nd;un;zi;t}$ i $\theta_{int;op;ac;zi;t} = \theta_{int;op;set}$.

Ako je $\Phi_{HC;nd;un;zi;t} > \Phi_{H,max}$ uzima se $\Phi_{HC;nd;zi;t} = \Phi_{H,max}$ i $\theta_{int;op;zi;t} = \theta_{int;op;upper;zi;t}$

Ako je $-\Phi_{C,max} > \Phi_{HC;nd;un;zi;t}$ uzima se $\Phi_{HC;nd;zi;t} = -\Phi_{C,max}$ i $\theta_{int;op;zi;t} = \theta_{int;op;upper;zi;t}$

Nakon određivanja nove ulazne snage grijanja/hlađenja potrebno je primijeniti izraze za izračun operativne temperature.

4. Korak: Izračun stvarne potrebe za grijanje ili hlađenje

Ako je $\Phi_{HC;nd;zi;t}$ pozitivan broj, onda je potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje u tom satu jednaka

$$Q_{H;nd;zi;t} = \Phi_{HC;nd;zi;t} \times 0,001$$

$$Q_{C;nd;zi;t} = 0$$

Ako je $\Phi_{HC;nd;zi;t}$ negativan broj, onda je potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje u tom satu jednaka

$$Q_{C;nd;zi;t} = \Phi_{HC;nd;zi;t} \times 0,001$$

$$Q_{H;nd;zi;t} = 0$$

3.2. Period inicijalizacije i iteracija

Ovisno o izboru ulaznih podataka koji su potrebni za početak proračuna, potrebna je iteracija proračuna. Stvarnom periodu proračuna prethodit će period inicijalizacije koji treba biti dovoljno dug da bi utjecaj pretpostavljenih temperatura svih čvorova bio zanemariv kada započne stvarni period proračuna. Za satni proračun za cijelu godinu, inicijalizacijski period traje najmanje dva tjedna prije početka stvarnog perioda proračuna (npr. prosinac prethodi

siječnju). Ako se radi o kraćem periodu (npr. karakteristični dan u mjesecu), onda se ciklus mora ponavljati više puta.

3.3. Izračun operativne temperature

Operativna temperatura u zoni z_i u vremenskom intervalu t se izračunava:

$$\theta_{int;op;z_i;t} = \frac{\theta_{int;a;z_i;t} + \theta_{int;r,mn;z_i;t}}{2} \quad (26)$$

$$\theta_{int;r,mn;z_i;t} = \frac{\sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \theta_{pli=1;eli;z_i;t})}{\sum_{eli=1}^{eln} A_{eli}} \quad (27)$$

Dobivene satne vrijednosti unutarnje temperature pretpostavljaju prosjek tijekom jednog sata.

3.4. Matematičko modeliranje

Kao što je na početku objašnjeno, prema satnoj metodi, potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje izračunava se tako da je svaki element zgrade podijeljen u konačan broj paralelnih slojeva i vremenski diferencijal se aproksimira diskretnim vremenskim intervalom. Standardnom aproksimacijom sve jednadžbe su linearne i rješavaju se kvadratnom matricom linearnih jednadžbi koja se rješava standardnim matematičkim postupkom, Gauss-Jordan eliminacijom putem pivotiranja. Jednadžbe (11), (13), (15) i (3) za zonu z_i za vremenski trenutak t formiraju kvadratnu matricu dimenzija $[eln+1, eln+1]$:

Jedna jednadžba uključuje toplinsku ravnotežu između temperature zraka u zoni z_i i temperature unutarnjih površina svakog elementa zgrade eli ($eli=1, \dots, eln$).

Ostale jednadžbe se raspisuju za svaki element zgrade ($eli=1, \dots, eln$):

pln jednadžbe ($eli=1, \dots, eln$) opisuju toplinsku ravnotežu između čvora pli elementa zgrade i ostalih čvorova s kojima je povezan.

Ukupno se dobiva: $pln \times eln+1$ broj jednadžbi, koji odgovara broju nepoznanica: a to su temperature svakog čvora i temperature zraka u zoni.

Lijeva strana svake jednadžbe (11), (13), (15) i (3) sadrži poznate koeficijente uz nepoznate temperature ($\theta_{1;l}, \dots, \theta_{1;eli}, \theta_{1;eln}, \theta_{int;a;zi}$). Desna strana svake jednadžbe (11), (13), (15) i (3) sadrži poznate uvjete (vektor). Sve se može zapisati u obliku:

$$[\text{Matrica A}] \times [\text{Vektor temperatura u čvorovima X}] = [\text{Vektor B}]$$

[Matrica A] - (poznati) koeficijenti na lijevoj strani jednadžbi (3), (11), (13) i (15)

[Vektor B] - (poznati) uvjeti na desnoj strani jednadžbi (3), (11), (13) i (15)

[Vektor temperatura u čvorovima X] - nepoznate temperature čija rješenja se traže ($pli = 1, \dots, pln, eli = 1, \dots, eln$):

$$\left(\begin{array}{c} \theta_{1;1;zi;t}, \dots, \theta_{1;eli;zi;t}, \dots, \theta_{pli;1;zi;t}, \dots, \theta_{pli;eli;zi;t}, \dots, \theta_{pln;eli;zi;t}, \dots, \theta_{pli;eln;zi;t}, \dots, \\ \theta_{pln;eln;zi;t}, \dots, \theta_{pln;eln;zi;t}, \theta_{int;a;zi;t} \end{array} \right)$$

$\theta_{pli;eli;zi;t}$ – temperatura na čvoru pli elementa zgrade eli u zoni zi u vremenskom trenutku t , opisano u jednadžbama (3), (11), (13) i (15), [°C]

$\theta_{int;a;zi;t}$ – unutarnja temperatura zraka u zoni zi u vremenskom trenutku t , opisano u jednadžbi (3), [°C]

Postupak proračuna rješava se pomoću makronaredbe napisane u računalnom programu Visual Basic for Applications (VBA). U svakom trenutku t , makronaredba rješava kvadratnu matricu čiji broj nepoznanica ovisi o broju jednadžbi koje opisuju proračunsku zonu zi . Izračunavaju se sve temperature u čvorovima $pli=1,\dots,pln$ svih elemenata zgrade eli u proračunskoj zoni zi u svakom vremenskom intervalu t , provodi se proračun potrebne toplinske energije na način da se ispisuju temperature $\theta_{int;op;0;zi;t}$ i $\theta_{int;op;upper;zi;t}$ potrebne za proračun konačne potrebne toplinske energije za grijanje ili hlađenje. Naredba automatski povezuje sve vremenske korake t . Za primjenu makronaredbe potrebno je definirati broj jednadžbi za matricu, definirati nazive ćelija za ispisivanje rezultirajućih temperatura $\theta_{pli;eli;zi;t}$ u čvorovima $pli=1,\dots,pln$, definirati ćelije koje sadrže vrijednosti $\theta_{int;set;C}$, $\theta_{int;set;H}$, $\theta_{int;op;0;zi;t}$, $\theta_{int;op;upper;zi;t}$ i $\Phi_{HC;10;zi;t}$ te definirati brojčanu vrijednost $\Phi_{HC;10;zi;t}$.

Tablica 2. Definirani građevni slojevi proračunske zone

Vanjski zid	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Vanjski sloj	0,115	0,99	1800	850
Izolacijski sloj	0,06	0,04	30	850
Betonski blok	0,175	0,79	1600	850
Unutarnji sloj	0,015	0,7	1400	850
Unutarnji zid	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Gips ploča	0,012	0,21	900	850
Izolacijski sloj	0,1	0,04	30	850
Gips ploča	0,012	0,21	900	850
Pod/strop	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Plastični sloj	0,004	0,23	1500	1500
Cementni sloj	0,06	1,4	2000	850
Izolacijski sloj	0,04	0,04	50	850
Betonski sloj	0,18	2,1	2400	850
Izolacijski sloj	0,1	0,04	50	850
Akustična izolacija	0,02	0,06	400	840

Toplinski otpor prozorskog stakla jednak je nuli. Prozor je orijentiran prema zapadu i sjenilo je spušteno.

Tablica 3. Solarne karakteristike

Solarne karakteristike prozora i sjenila za sve kutove upada zračenja	τ_n	ρ_n
Prozor	0,84	0,08
Sjenilo	0,2	0,5

Vanjski plošni toplinski otpor sjenila: $R_{s,e} = 0,074 \text{ m}^2\text{K/W}$

Unutarnji plošni toplinski otpor prozora: $R_{s,i} = 0,074 \text{ m}^2\text{K/W}$

Tablica 4. Solarni parametri proračunske zone

Solarni parametri:			
f_{sa}	0,1	apsorpcijski koeficijent zida α_{sr}	0,6
f_{sl}	0,0		
Solarni distribucijski parametar za pod f_d	0,5		
strop f_d	0,1		
vertikalne zidove (isključujući prozore) f_d	0,4		

Vanjski koeficijent prolaska topline konvekcijom $h_{c,e} = 8,0 \text{ W /m}^2\text{K}$

Unutarnji koeficijenti prolaska topline konvekcijom - za vodoravni toplinski tok

$$h_{c,i} = 2,5 \text{ W /m}^2\text{K}$$

- za toplinski tok prema gore $h_{c,i} = 5,0 \text{ W /m}^2\text{K}$

- za toplinski tok prema dolje $h_{c,i} = 0,7 \text{ W /m}^2\text{K}$

Koeficijent prolaska topline zračenjem $h_{lr} = 5,5 \text{ W /m}^2\text{K}$ (za sve površine)

Broj izmjena zraka uslijed infiltracije $n_{inf} = 1 \text{ h}^{-1}$

Konvektivni faktor unutarnjih dobitaka $f_{int,c} = 0,5$.

Tablica 5. Solarno zračenje, vanjske temperature i unutarnji dobici za proračunsku zonu

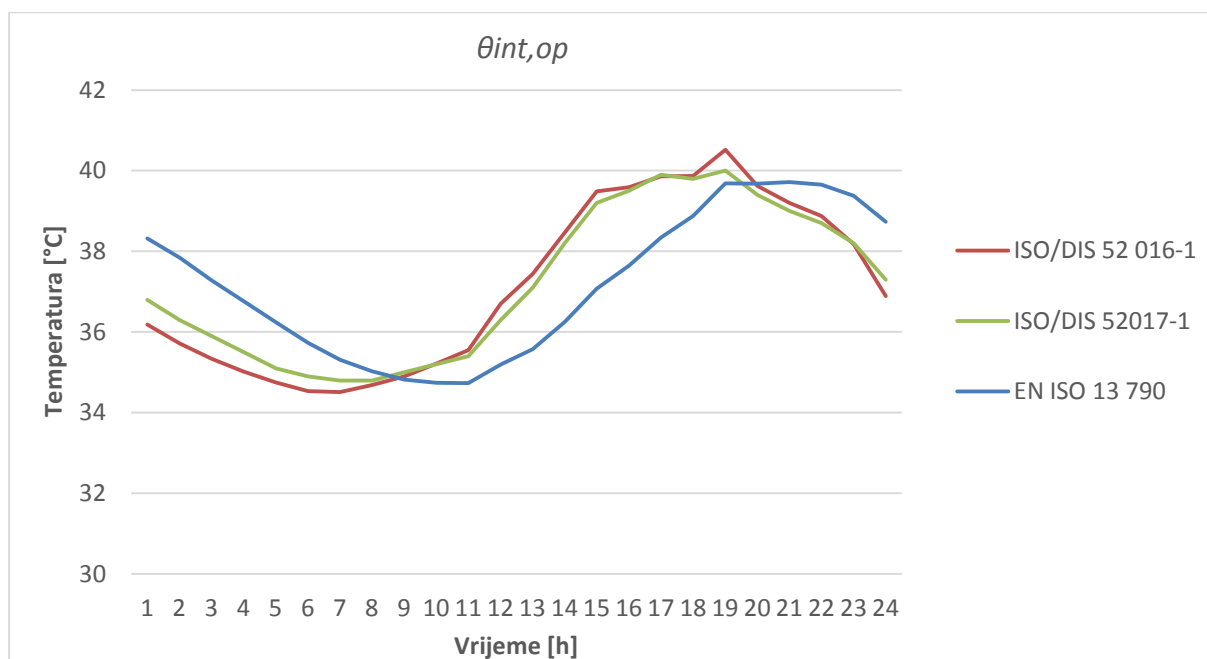
sati	Solarno zračenje Zapad 40° S zem. širine			Vanjska temperatura	Unutarnji dobici
[h]	direktno [W/m ²]	difuzno [W/m ²]	reflektirano [W/m ²]	$\theta_{air,e}$ [°C]	Φ_i [W/m ²]
0	0	0	0	24,2	0
1	0	0	0	23,6	0
2	0	0	0	23,0	0
3	0	0	0	22,5	0
4	0	0	0	22,1	0
5	0	2	0	22,0	0
6	0	45	17	22,2	0
7	0	78	37	22,8	1
8	0	103	56	23,9	1
9	0	122	72	25,8	1
10	0	137	84	27,3	1
11	0	145	92	29,3	10
12	0	160	95	31,2	10
13	209	172	92	32,7	10
14	396	180	84	33,6	10
15	539	181	72	34,0	1
16	616	172	56	33,6	1
17	595	146	37	32,8	1
18	418	93	17	31,5	15
19	17	3	0	29,9	15
20	0	0	0	28,4	15
21	0	0	0	27,0	15
22	0	0	0	25,8	10
23	0	0	0	24,9	0

4.2. Rezultati procjene valjanosti

Za svaki sat izračunata je operativna temperatura po matematičkom modelu koja je uspoređena sa rezultatima operativnih temperatura navedenih u normi ISO 52017-1.

Tablica 6. Operativne temperature

Sati [h]	Operativna temperatura (vrijednosti iz norme ISO 52017-1 θ_{op} [°C]	Operativna temperatura (izračun po matematičkom modelu) θ_{op} [°C]	razlika
0	36,8	36,2	0,6
1	36,3	35,7	0,6
2	35,9	35,3	0,6
3	35,5	35,0	0,5
4	35,1	34,7	0,4
5	34,9	34,5	0,4
6	34,8	34,5	0,3
7	34,8	34,7	0,1
8	35,0	34,9	0,1
9	35,2	35,2	0,0
10	35,4	35,5	-0,1
11	36,3	36,7	-0,4
12	37,1	37,4	-0,3
13	38,2	38,5	-0,3
14	39,2	39,5	-0,3
15	39,5	39,6	-0,1
16	39,9	39,9	0,0
17	39,8	39,9	-0,1
18	40,0	40,5	-0,5
19	39,4	39,6	-0,2
20	39,0	39,2	-0,2
21	38,7	38,9	-0,2
22	38,2	38,2	0,0
23	37,3	36,9	-0,4
prosjeck	37,2	37,1	0,0



Dijagram 1. Rezultati operativnih temperatura po modelu iz norme ISO/DIS 52017-1 i norme EN ISO 13790

Dijagram 1. prikazuje usporedbu operativne temperature po normi ISO 52017-1, operativne temperature po matematičkom modelu prema normi ISO 52016 -1 i vrijednostima dobivenih normom EN ISO 13790. Iz usporedbe rezultata operativnih temperatura u tablici 6. kod kojih je prosječna razlika jednaka nula te prema krivuljama dobivenim u dijagramu koje ukazuju na identičnost faznih pomaka i amplituda krivulja, možemo zaključiti da je programski kod validiran.

Bitno je uočiti postojanje faznog pomaka prema normi ISO 52016 -1 i normi EN ISO 13790. Fazni pomak posljedica je razlika navedenih u naslovu 2.2. (Glavne razlike između stare i nove satne metode), a one bi se u kratko mogle svesti na sljedeće razlike:

1. Norma EN ISO 13790 dijeli cijelu proračunsku zonu na tri čvora (dva neprozirna i jedan prozirni element) dok je u normi ISO 52016 -1 svaki element proračunske zone podijeljen u 5 čvorova (prozirni elementi u 2 čvora). Stoga je cijeli „RC“ model, iz jedne i druge norme, skup otpora i kapaciteta koji se, na različite načine i prema različitim izračunima, uzimaju u proračun. Norma EN ISO 13790 u ulaznim podacima koristi znatan broj empirijskih faktora čiji je cilj pojednostavniti proračun svrstavajući proračunsku zonu u određenu kategoriju. O

„napredovanju“ greške i konačnoj razlici rezultata zbog drugačijih ulaznih podataka pisano je u naslovu 2.3. Definirani ulazni podaci prema normi ISO 52016 -1 ne odgovaraju definiranim ulaznim podacima prema normi EN ISO 13790, primjerice:

Tablica 7. Ulazni podaci za konvektivne faktore

	prema normi ISO 52016-1	prema normi EN ISO 13790
konvektivni faktor unutarnjih dobitaka $f_{int,c}$	0,4	0,5
konvektivni faktor solarnih dobitaka $f_{sol,c}$	0,4	0
konvektivni faktor sustava grijanja/hlađenja $f_{H/C,c}$	0,4	1

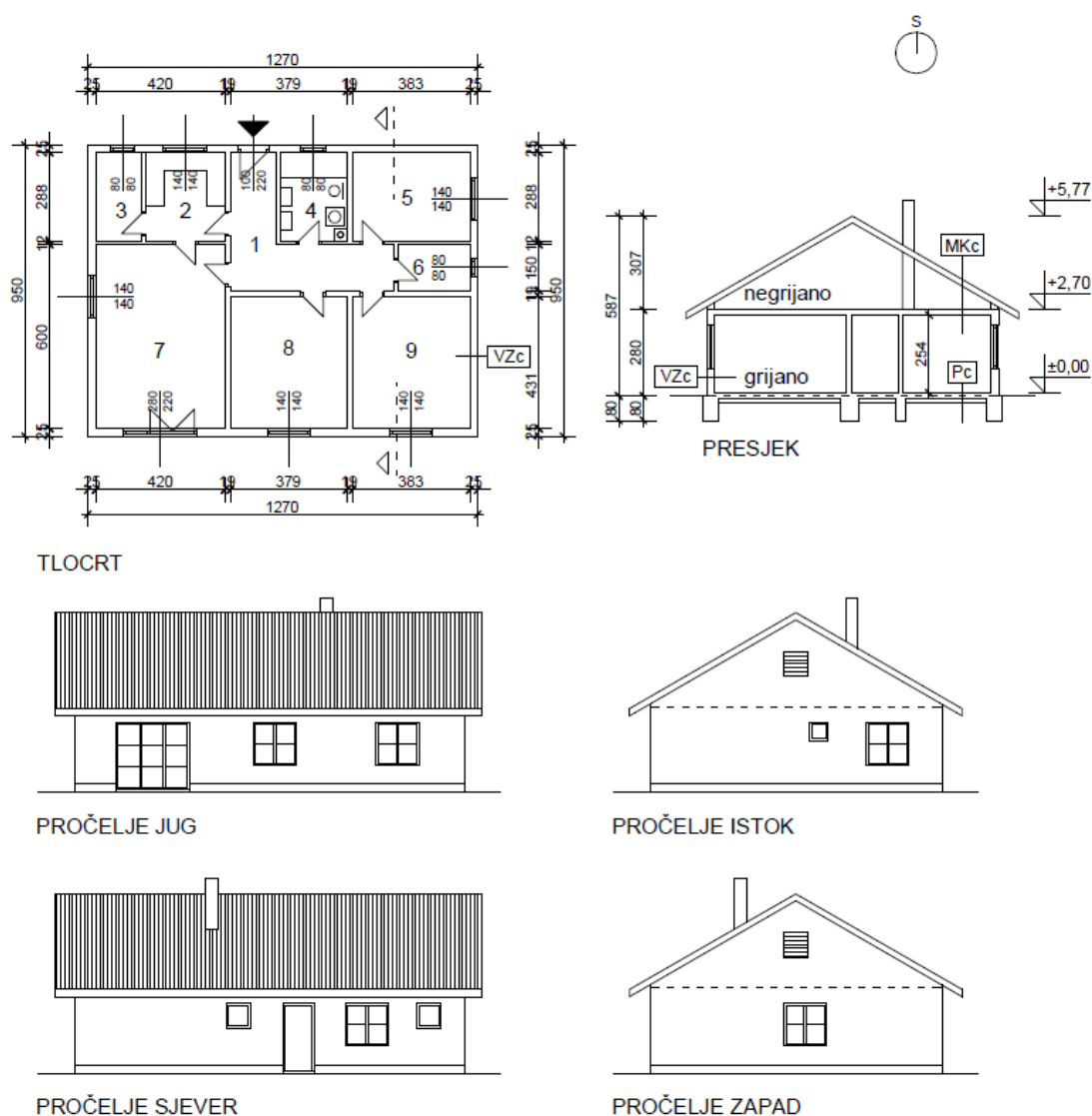
2. Operativna temperatura prema normi ISO 52016 -1 rezultat je srednje unutarnje temperature zraka $\theta_{int;a;zi;t}$ i srednje površinske temperature svih ploha $\theta_{int;r,mn;zi;t}$ koje okružuju proračunsku zonu. Prema njoj se računa stvarna potreba $Q_{HC,nd}$. Prema normi EN ISO 13790, unutarnja temperatura zraka $\theta_{int;a;zi;t}$ diktira stvarnu potrebu $Q_{HC,nd}$.

Nakon što je validiran matematički model, proveden je proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje prema normi ISO 52016 -1 za odabrani model zgrade te su rezultati uspoređeni sa proračunima „mjesečnom“ i „jednostavnom satnom metodom“ prema normi EN ISO 13790.

5. PRORAČUN POTREBNE TOPLISNKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZA ZGRADU

5.1. Geometrijsko-građevinske karakteristike zgrade

Za analizu, dinamičke metode proračuna potrebne toplinske energije prema normi ISO 52016 -1 i usporedbu rezultata sa proračunima „mjesečnom“ i „jednostavnom satnom metodom“ prema normi EN ISO 13790, odabrana je zgrada/obiteljska kuća. Satni i mjesečni meteorološki podaci u proračunu (vanjske temperature, solarno zračenje) korišteni su za područje grada Zagreba. U nastavku slijede opisi geometrijskih, građevinskih i ostalih ulaznih podataka korištenih u proračunu.



Slika 10. Tlocrt i pročelje kuće

Tablica 8. Površine građevnih elemenata

Komponente: Površine	$A_{eli} [m^2]$		$A_{eli} [m^2]$
Vanjski zid - Sjever	30,1	Prozor - Istok	2,6
Vanjski zid - Jug	25,5	Prozor - Zapad	2
Vanjski zid - Istok	24	Unutarnji zid	25,6
Vanjski zid - Zapad	24,6	Pod	120,7
Prozor - Sjever	5,4	Strop/krov	120,7
Prozor - Jug	10,1	Volumen $[m^3]$:	306,5

Tablica 9. Definirani građevni slojevi proračunske zone

Vanjski zid	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	R [m ² K/W]	κ [J/ m ² K]
Vapneno-cementna žbuka	0,002	1	2000	737	0,002	2984
Šuplji blokovi od gline	0,25	0,48	1100	837	0,521	230175
Polimerno cementno ljepilo	0,005	0,4	1650	1000	0,013	8250
EPS	0,1	0,04	115	1450	2,500	16675
Polimerno cementno ljepilo	0,005	0,4	1650	1000	0,013	8250
Silikatna žbuka	0,002	0,9	2000	737	0,002	2984
Unutarnji zid						
Vapneno-cementna žbuka	0,002	1	2000	737	0,002	2984
Šuplji blokovi od gline	0,2	0,48	800	837	0,417	133920
Vapneno-cementna žbuka	0,002	1	2000	737	0,002	2984
Pod						
Cementni estrih	0,05	1,6	2000	1100	0,031	110000
EPS	0,08	0,04	115	1450	2,00	13340
Armirani beton	0,1	2,6	2500	879	0,038	219750
Beton	0,1	2,5	2400	879	0,04	210960
Šljunak	0,3	0,81	1700	1000	0,37	510000
Strop/krov						

Vapneno-cementna žbuka	0,002	1	2000	737	0,002	2948
Armirani beton	0,1	2,6	2500	879	0,038	219750
MW	0,1	0,04	115	1030	2,5	11845
Slabo provjetravani zračni sloj	0,3	3,75	1,2	1006	0,08	326,2
Glineni crijep	0,02	0,81	1800	900	0,025	32400

Prema jednadžbama (17) i (18) izračunate su vrijednosti provođenja između čvora pli i čvora $pli+1$ za svaki element zgrade (uzimajući u obzir posebno neprozirne i prozirne elemente). Prema jednadžbama (19) - (22) izračunata je raspodjela toplinskog kapaciteta između čvorova pli elemenata eli po jedinici površine. Prema normi ISO/DIS 52016-1 toplinski kapacitet može bit jednoliko raspoređen na tri čvora ili smješten na samo jedan čvor. Toplinski kapacitet za vanjski zid smješten je na čvor 2 pošto je sva masa smještena na taj čvor. Isto vrijedi za strop, dok su toplinski kapaciteti za unutarnji zid i pod jednoliko raspoređeni po čvorovima.

Tablica 10. Raspodjela toplinskih otpora i kapaciteta

Vanjski zid	h_{pl} [W/m ² K]		κ_{pl} [J/ m ² K]
h_{pl1}	2,0	κ_{pl2}	269246
h_{pl2}	1,0	κ_{pl3}	0
h_{pl3}	1,0	κ_{pl4}	0
h_{pl4}	2,0		
Unutarnji zid	h_{pl} [W/m ² K]		κ_{pl} [J/ m ² K]
h_{pl1}	14,3	κ_{pl2}	46605,3
h_{pl2}	7,1	κ_{pl3}	46605,3
h_{pl3}	7,1	κ_{pl4}	46605,3
h_{pl4}	14,3		
Pod	h_{pl} [W/m ² K]		κ_{pl} [J/ m ² K]
h_{pl1}	2,4	κ_{pl2}	354683,3
h_{pl2}	1,2	κ_{pl3}	354683,3
h_{pl3}	1,2	κ_{pl4}	354683,3
h_{pl4}	2,4		

Strop/krov	h_{pl} [W/m ² K]		κ_{pl} [J/ m ² K]
h_{pl1}	2,3	κ_{pl2}	267305,2
h_{pl2}	1,1	κ_{pl3}	0
h_{pl3}	1,1	κ_{pl4}	0
h_{pl4}	2,3		
Prozor	h_{pl} [W/m ² K]		
h_{pl}	2,9		

5.2. Vrijednosti ostalih ulaznih podataka korištenih u proračunu

Tablica 11. Ulazni parametri za plošne toplinske otpore R_s , koeficijente prolaska topline konvekcijom h_c i koeficijente prolaska topline zračenjem h_r

	Koeficijenti prolaska topline konvekcijom h_c [W/ m ² K]		Plošni otpori prijelaza topline R_s [m ² K/W]	
Vanjski zidovi i prozori	$h_{c,e}$	20,3	$R_{s,e}$	0,04
	$h_{c,i}$	2,6	$R_{s,i}$	0,13
Unutarnji zid	$h_{c,e}$	2,6	$R_{s,e}$	0,13
	$h_{c,i}$	2,6	$R_{s,i}$	0,13
Pod	$h_{c,e}$	0	$R_{s,e}$	0
	$h_{c,i}$	0,8	$R_{s,i}$	0,17
Strop	$h_{c,e}$	20,3	$R_{s,e}$	0,04
	$h_{c,i}$	4,9	$R_{s,i}$	0,1
	Koeficijenti prolaska topline zračenjem [W/ m ² K]			
Sve površine	$h_{lr,i}$	5,13		
Sve površine (osim poda)	$h_{lr,e}$	4,7		
Pod	$h_{lr,e}$	1000		

Vanjski koeficijent prolaska topline zračenjem ($h_{lr,e} = 4,7$ W/ m²K) određen je kao srednja vrijednost svih vanjskih koeficijenata prolaska topline zračenjem za sve mjeseci u godini (za $\varepsilon = 0,9$). Unutarnji koeficijent prolaska topline zračenjem ($h_{lr,i} = 5,13$ W/ m²K) izračunat je za $\varepsilon = 0,9$ i sa h_{r0} određenim za $\theta_m = 20^\circ\text{C}$. Svi koeficijenti prolaska topline konvekcijom

izračunati su kao razlika plošnog otpora prijelaza topline i koeficijenta prolaska topline zračenjem ovisno o položaju odgovarajuće plohe.

Radi usklađenja proračuna po „satnoj“, „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi za temperaturu tla korištena je konstantna vrijednost od $\theta_{tla} = 12^\circ\text{C}$.

Tablica 12. Ulazni parametri za infiltraciju i unutarnje dobitke

Broj izmjena zraka uslijed infiltracije	ni_{nf}	0,5	$[\text{h}^{-1}]$
Specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine	q_{spec}	5	$[\text{W}/\text{m}^2]$
Konvektivni faktor unutarnjih dobitaka	$f_{\text{int},c}$	0,4	-
Konvektivni faktor sustava grijanja/hlađenja	$f_{H/C,c}$	0,4	-

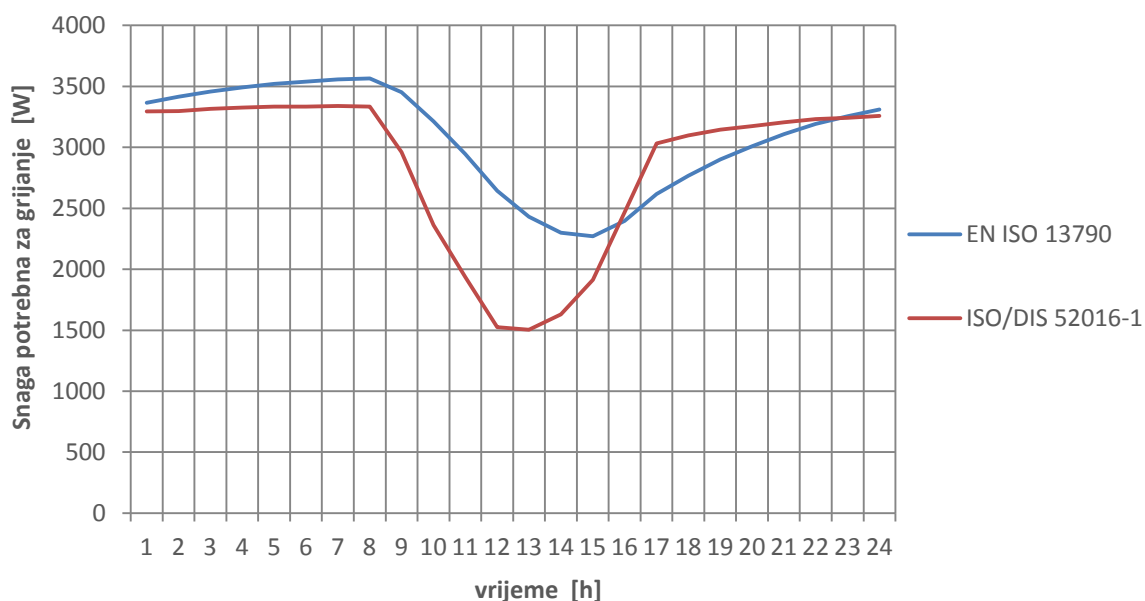
5.3. Solarni parametri

Tablica 13. Solarni parametri

Konvektivni faktor solarnih dobitaka	$f_{\text{sol},c}$	0,4	-
Koeficijent prolaza topline prozirnih građevnih elemenata	U_w	1,8	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
Udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora	F_F	0,25	-
Faktor smanjenja zbog ne okomitog upada Sunčevog zračenja	F_W	0,9	-
Stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno	g_{\perp}	0,8	-
Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja (intenzitet Sunčevog zračenja veći od $300 \text{ W}/\text{m}^2$)	F_C	0,75	-
Faktor apsorpcije Sunčevog zračenja	$\alpha_{S,c}$	0,4	-
Solarni distribucijski parametar za: - pod - strop - vertikalne zidove (isključujući prozore i unutarnji zid) - vertikalne zidove - unutarnji zid	f_d	0,4	-
	f_d	0,15	-
	f_d	0,05	-
	f_d	0,4	-

5.4. Rezultati dinamičke metode proračuna potrebne toplinske energije za zgradu

U dijagramima su prikazani rezultati satnog proračuna potrebne toplinske energije za kontinuirano grijanje i hlađenje za opisanu zgradu/kuću. Dijagrami prikazuju jedan uprosječen dan u svakom mjesecu u godini. Prikazana je usporedba rezultata po „satnoj“ metodi prema normi ISO 52016-1 i „jednostavnoj satnoj metodi“ prema normi EN ISO 13790.

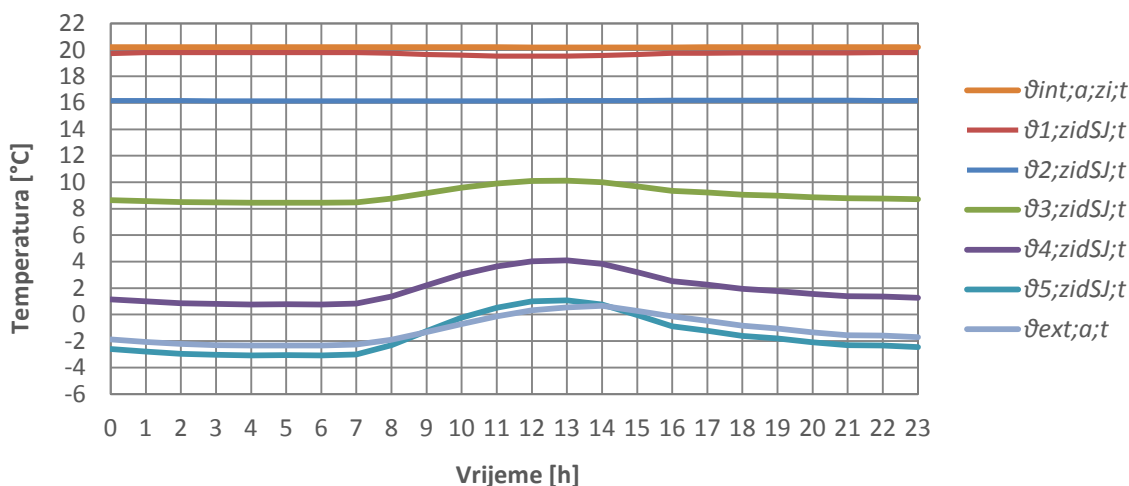


Dijagram 2. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječen dan u siječnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790

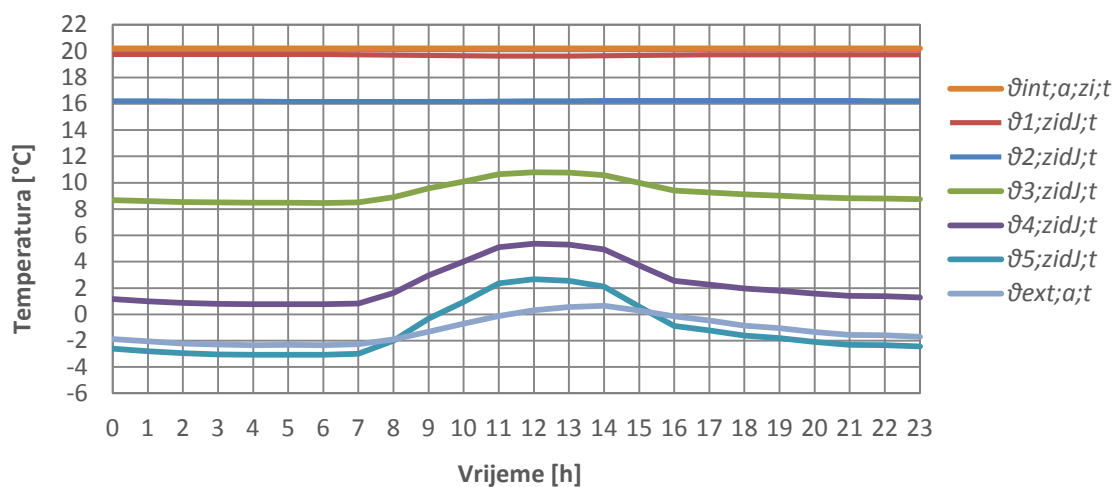
Iz dijagrama možemo zaključiti da je tijek krivulja u oba slučaja sličan, ali amplitude se ne pojavljuju u istom trenutku. Najveće vršno opterećenje za krivulju prema normi ISO/DIS 52016-1 se pojavljuje oko 12 sati što i odgovara najjačem Sunčevom zračenju. Najveće vršno opterećenje za krivulju prema normi EN ISO 13790 se pojavljuje oko 15 sati, što odgovara vremenu duljeg odziva zbog otpora unutar građevnih elemenata i akumulacije topline u građevnim slojevima elemenata zgrade. Iste situacije se pojavljuju u svim mjesecima u godini. Za slučaj prema normi ISO/DIS 52016-1, razlog možemo pronaći analizirajući plošne toplinske otpore na unutarnjim stjenkama svih građevnih elemenata u odnosu na toplinske otpore između prvog i drugog čvora građevnog elementa primjerice vanjskog zida. Plošni toplinski otpor na unutarnjoj stjenci iznosi $R_{s,i} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ što odgovara koeficijentu prolaska topline od $U = 7,69 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toplinski otpor između prvog i drugog čvora na

vanjskom zidu iznosi $R_{plil} = 0,52 \text{ m}^2\text{K/W}$ što odgovara koeficijentu prolaska topline od $U_{plil} = 1,97 \text{ W/m}^2\text{K}$. Što znači da između prvog i drugog čvora postoji toplinski otpor koji je 3,9 puta veći od plošnog otpora i koji sprečava znatniji prolazak topline i njezinu akumulaciju u građevnom elementu koja bi, nakon što se akumulira, mogla utjecati na kasniju pojavu vršnog opterećenja. Upravo to se i pojavljuje na dijagramima koji slijede. Unutarnja površinska temperatura/temperatura prvog čvora građevnog elementa je uvijek slična unutarnjoj temperaturi zraka, kao i vanjska površinska temperatura/temperatura petog čvora građevnog elementa koja je uvijek slična vanjskoj temperaturi zraka. Temperature između prvog i drugog čvora građevnog elementa se razlikuju zbog različitih i znatno većih toplinskih otpora i zbog ukupnog toplinskog kapaciteta građevnog elementa koji je jednoliko raspoređen na čvorovima 2,3 i 4, dok čvorovi 1 i 5 ne posjeduju toplinski kapacitet.

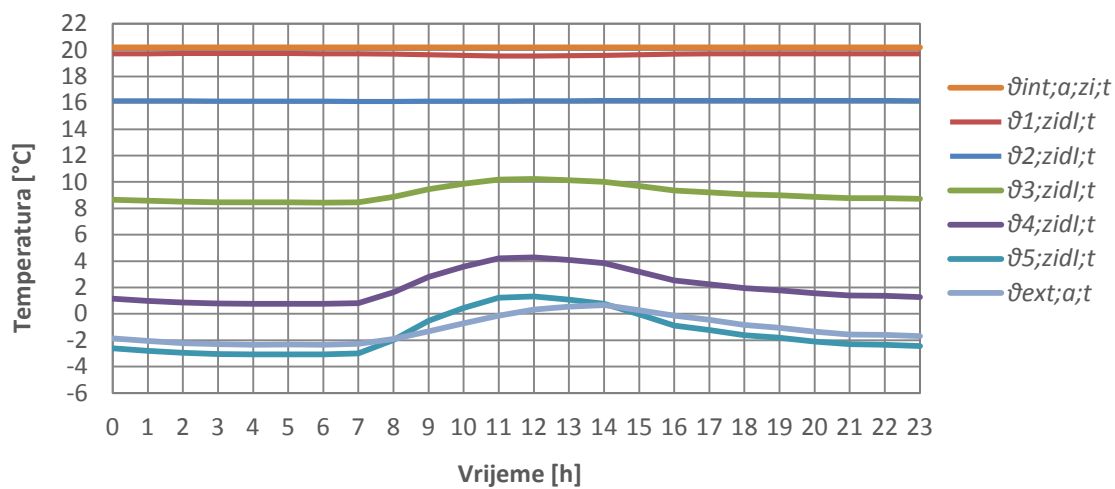
U sljedećim dijagramima prikazana je raspodjela temperatura po slojevima/čvorovima za određene građevne elemente kuće.



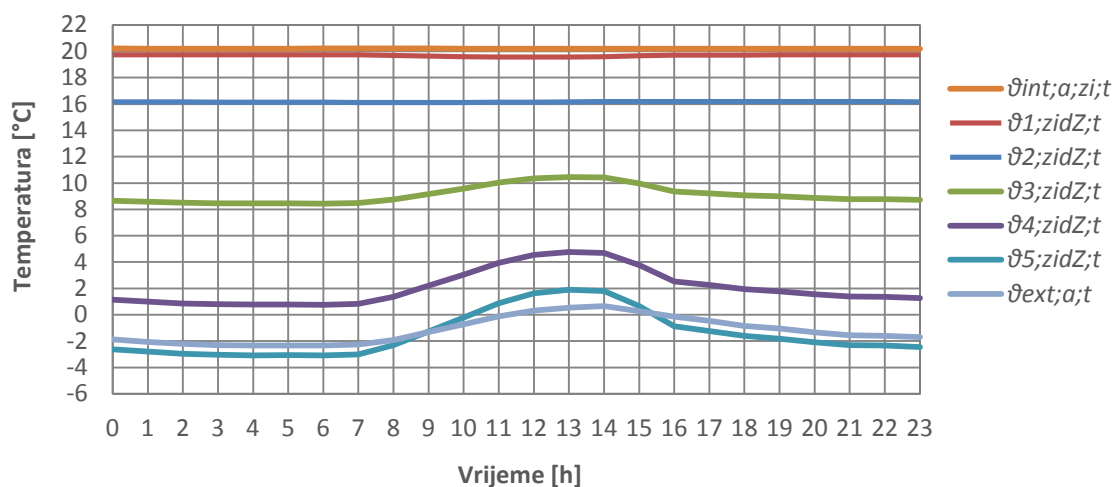
Dijagram 3. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema sjeveru za uprosječni dan u siječnju



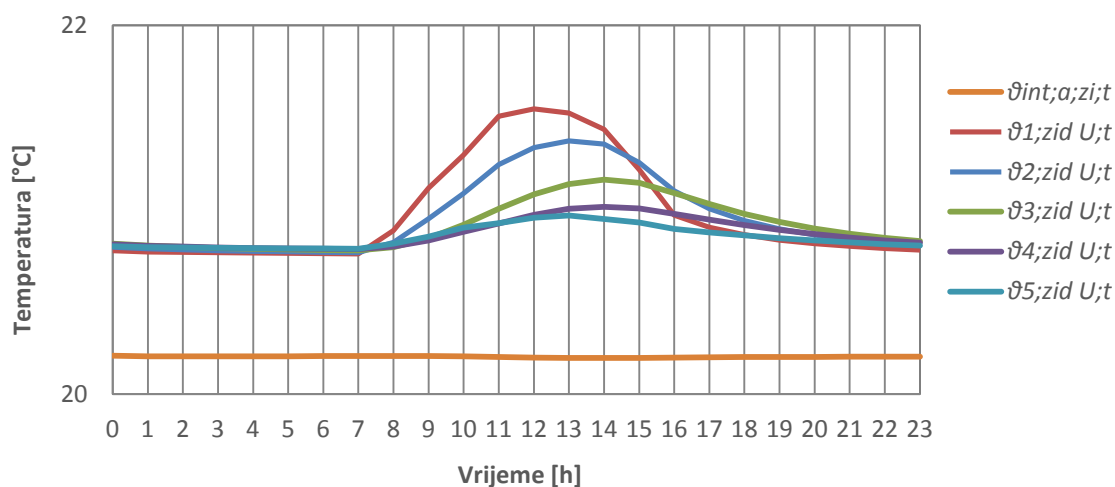
Dijagram 4. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema jugu za uprosječni dan u siječnju



Dijagram 5. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema istoku za uprosječni dan u siječnju

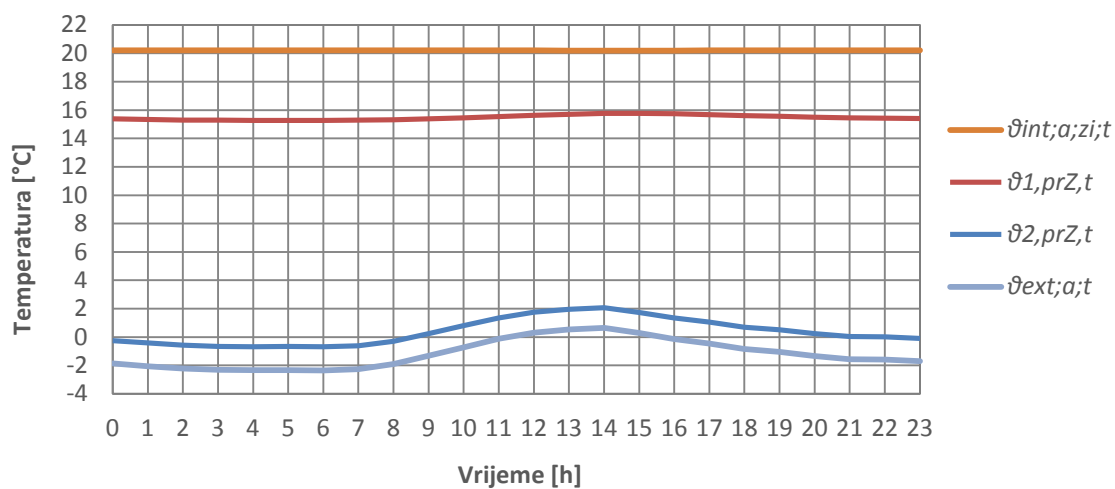


Dijagram 6. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u siječnju

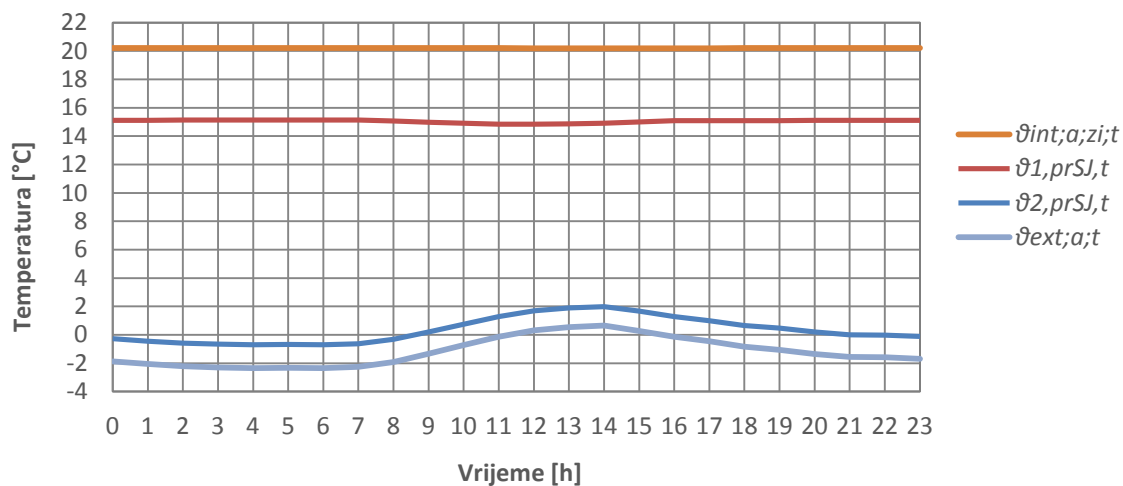


Dijagram 7. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova unutarnjeg zida za uprosječni dan u siječnju

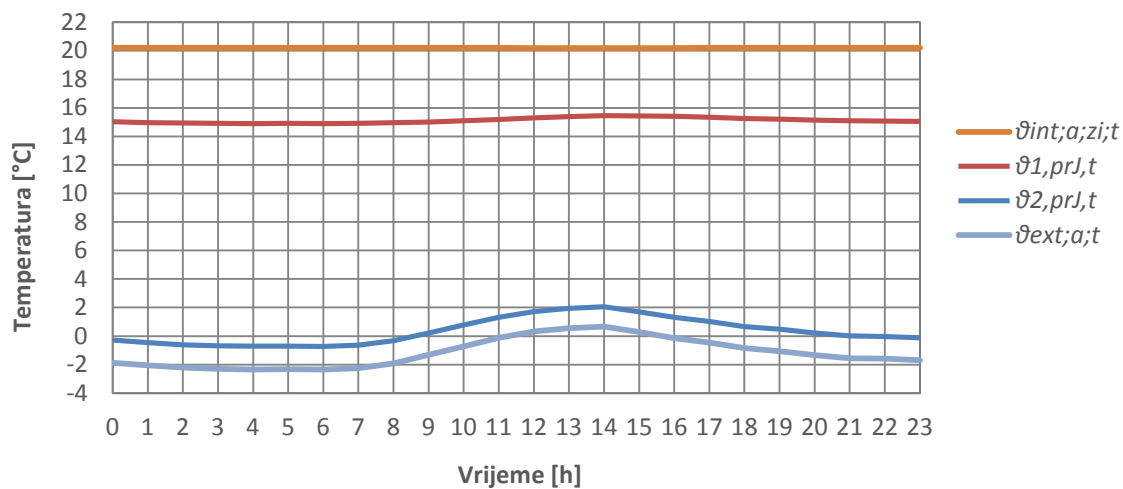
Prema dijagramu za dnevnu raspodjelu temperatura svih čvorova unutarnjeg zida možemo vidjeti razlike između temperatura čvora 1 i 5. Čvor 1 je orijentiran prema jugu, a čvor 5 prema sjeveru te imaju različite solarne dobitke. Možemo primijetiti i postojanje pomaka u fazi između krivulja svih čvorova što bi odgovaralo duljem vremenu apsorpcije topline prema unutrašnjosti zida.



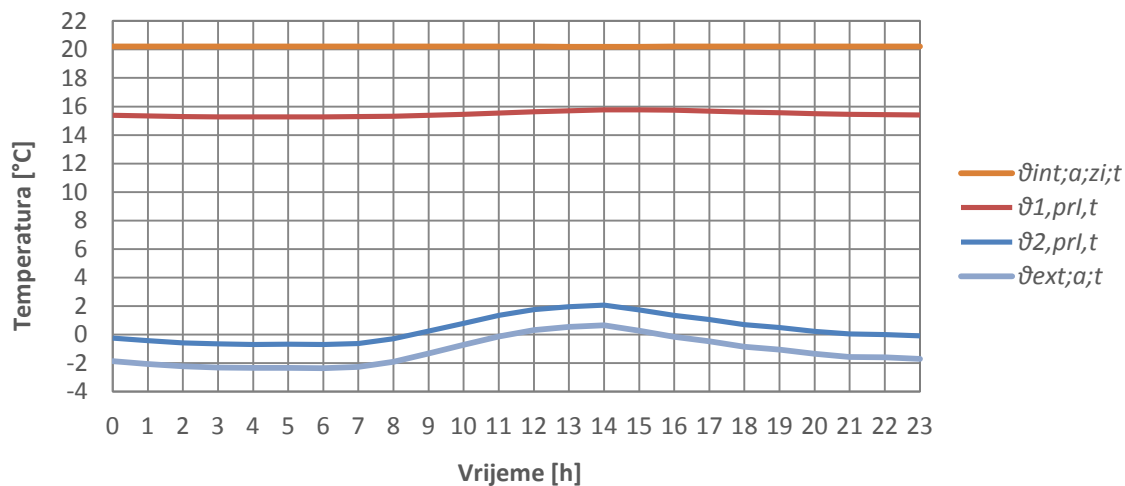
Dijagram 8. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u siječnju



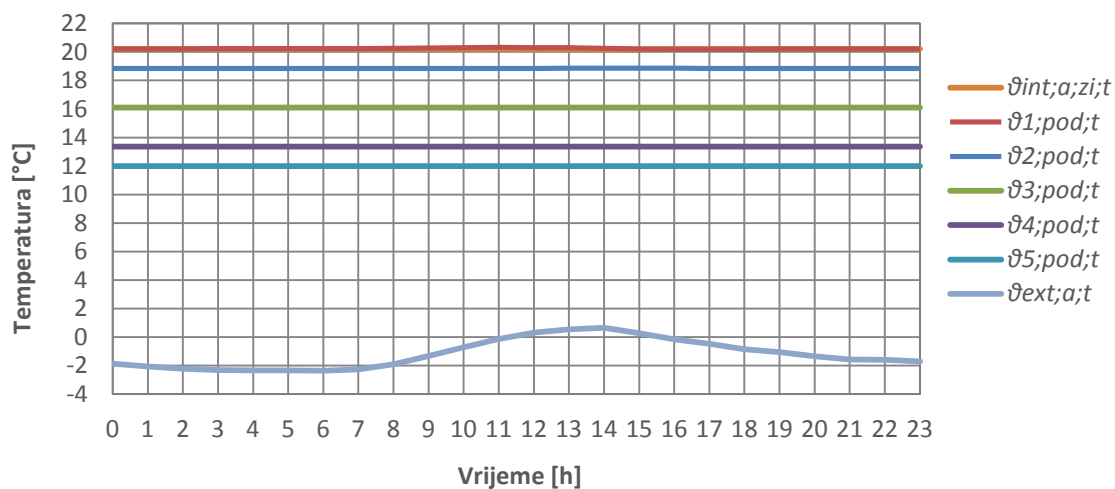
Dijagram 9. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema sjeveru za uprosječni dan u siječnju



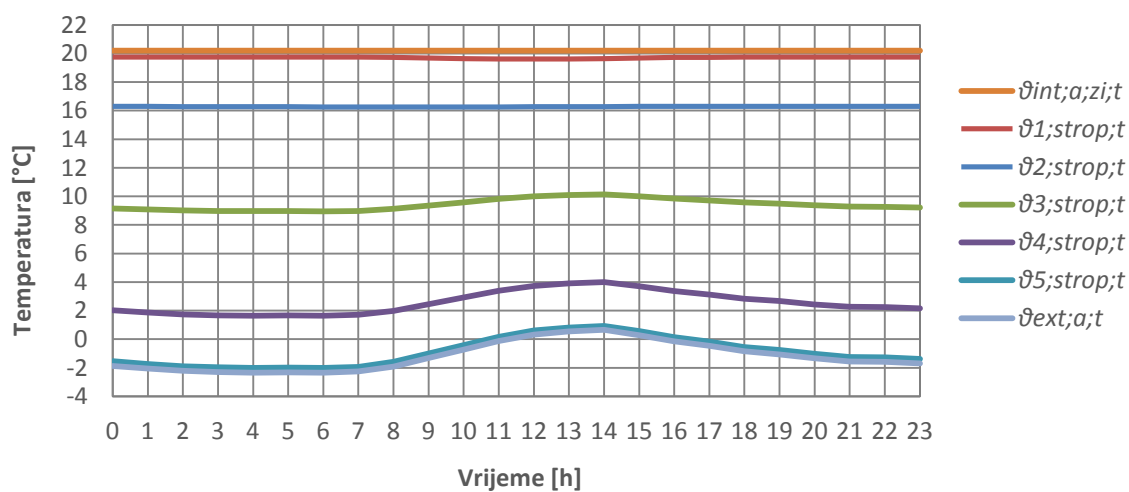
Dijagram 10. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema jugu za uprosječni dan u siječnju



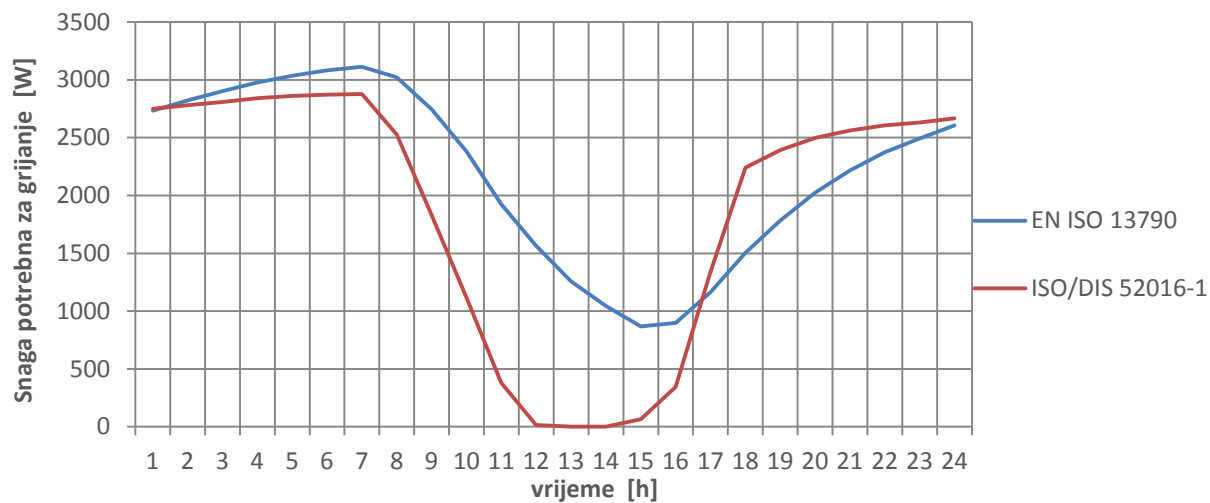
Dijagram 11. Dnevne raspodjele temperatura površinskih slojeva prozora orijentiranog prema istoku za uprosječni dan u siječnju



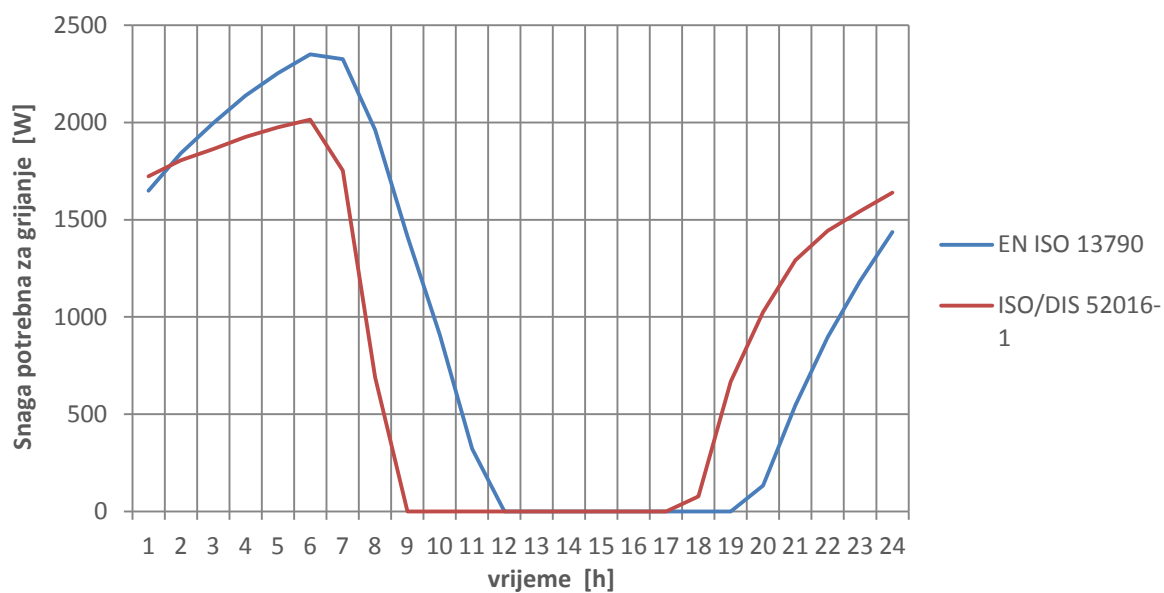
Dijagram 12. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova poda za uprosječni dan u siječnju



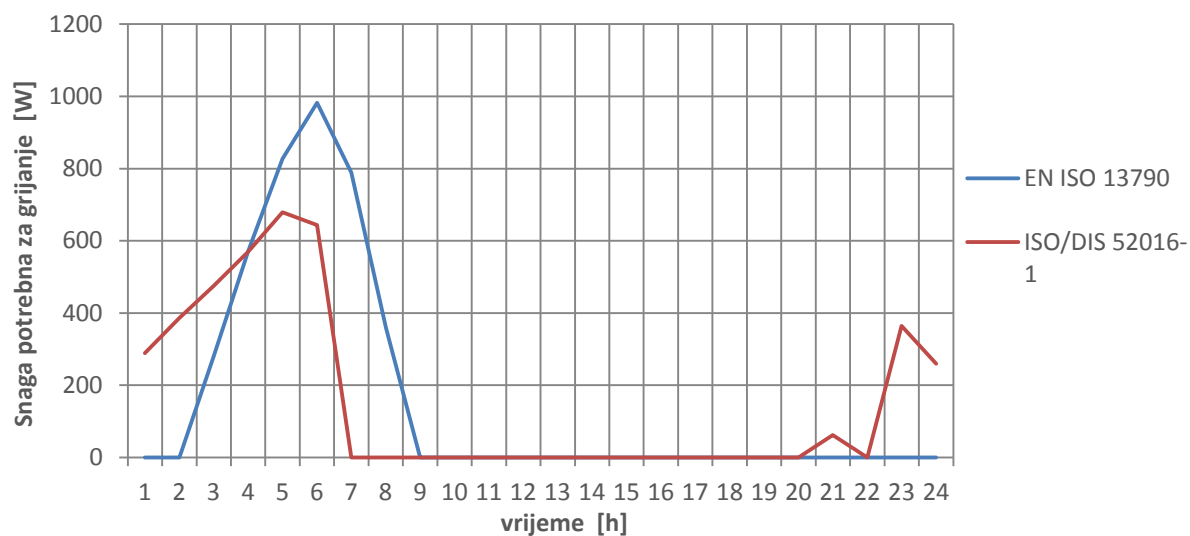
Dijagram 13. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova stropa za uprosječni dan u siječnju



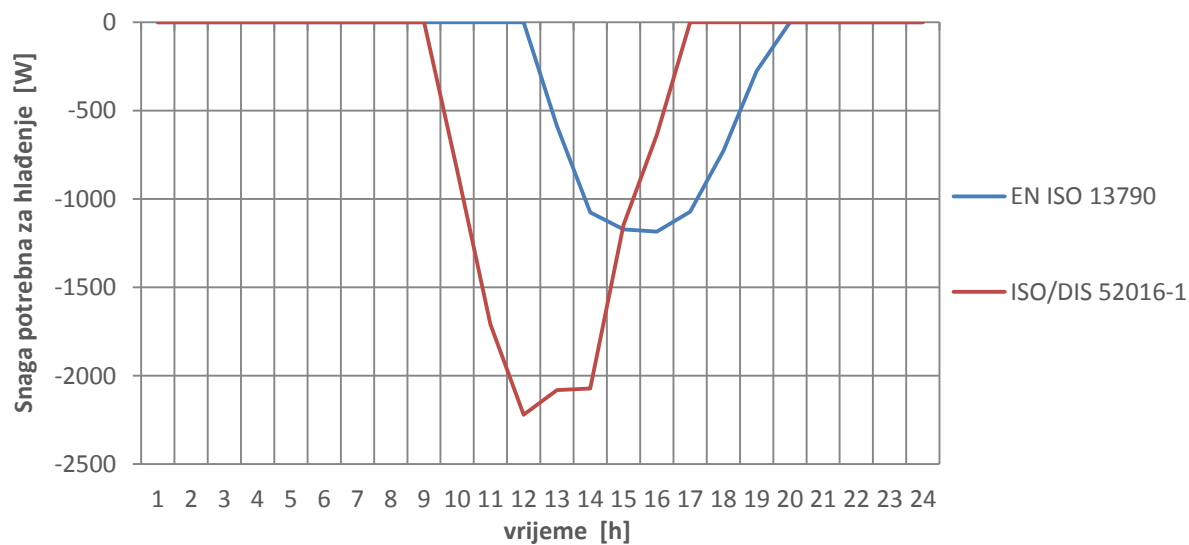
Dijagram 14. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u veljači prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



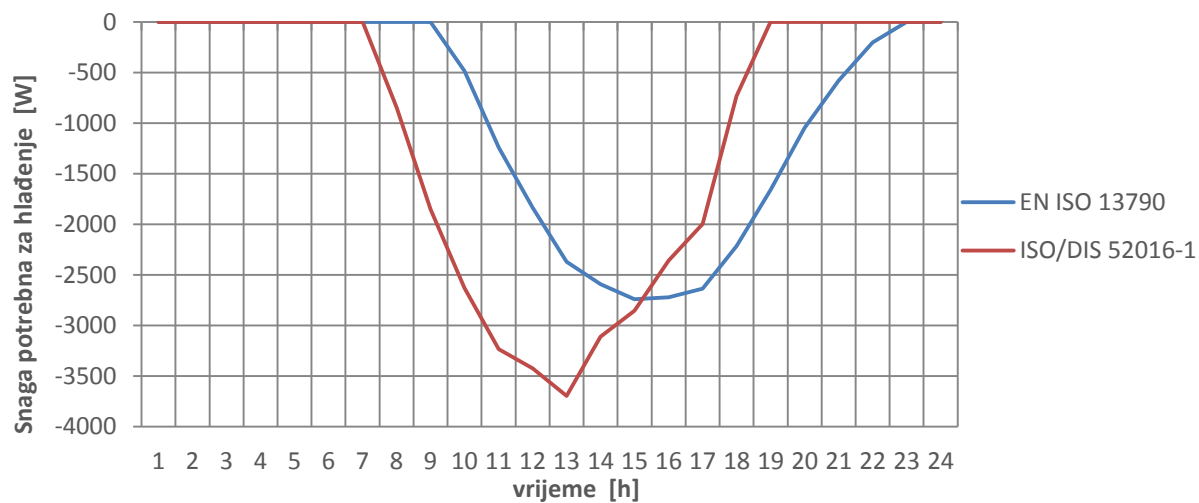
Dijagram 15. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u ožujku prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



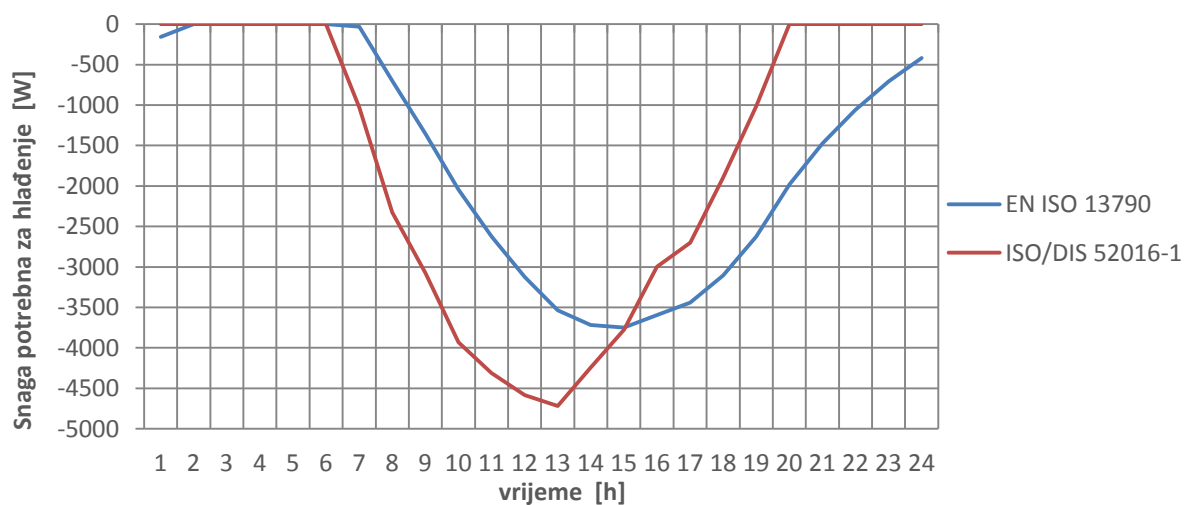
Dijagram 16. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u travnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



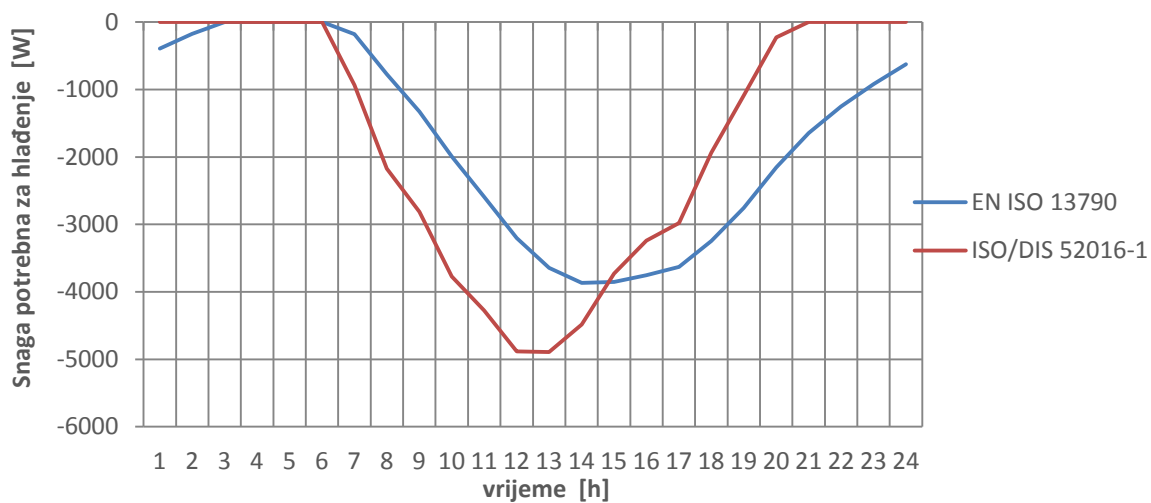
Dijagram 17. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u travnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



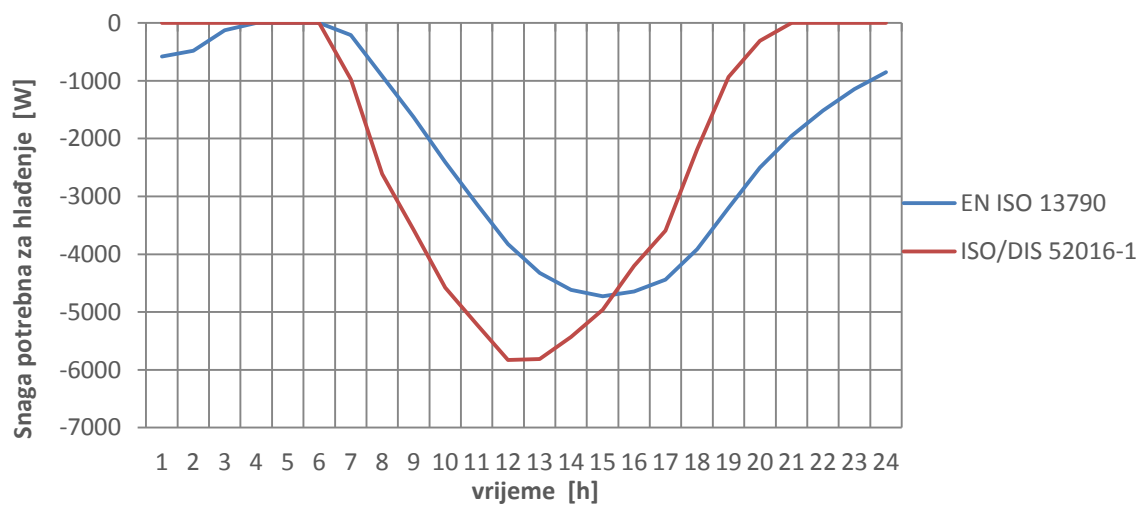
Dijagram 18. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u svibnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



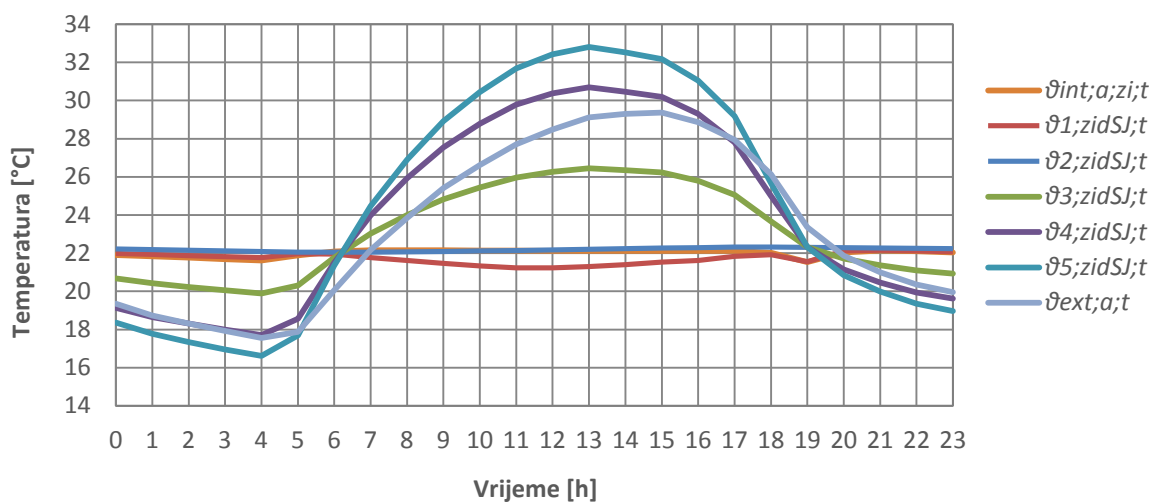
Dijagram 19. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u lipnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



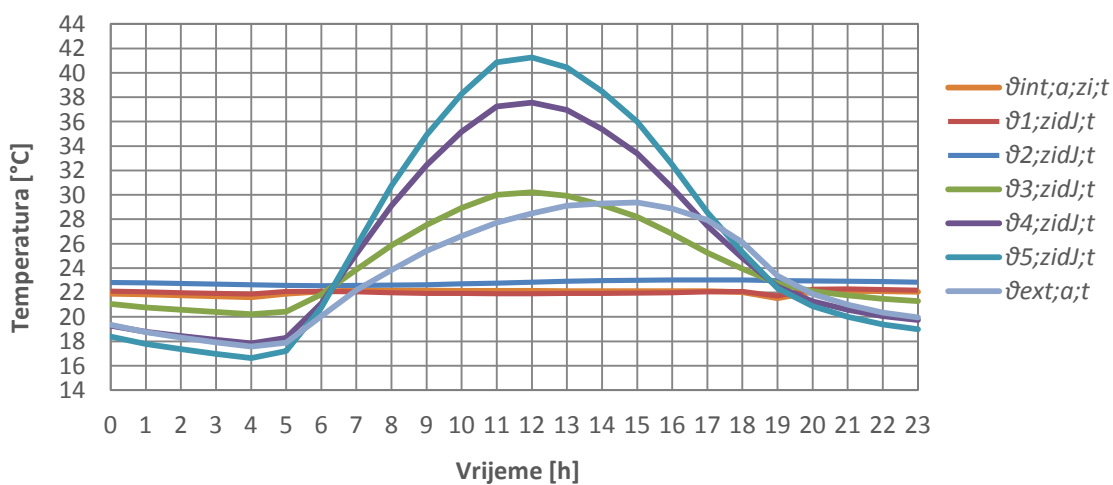
Dijagram 20. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u srpnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



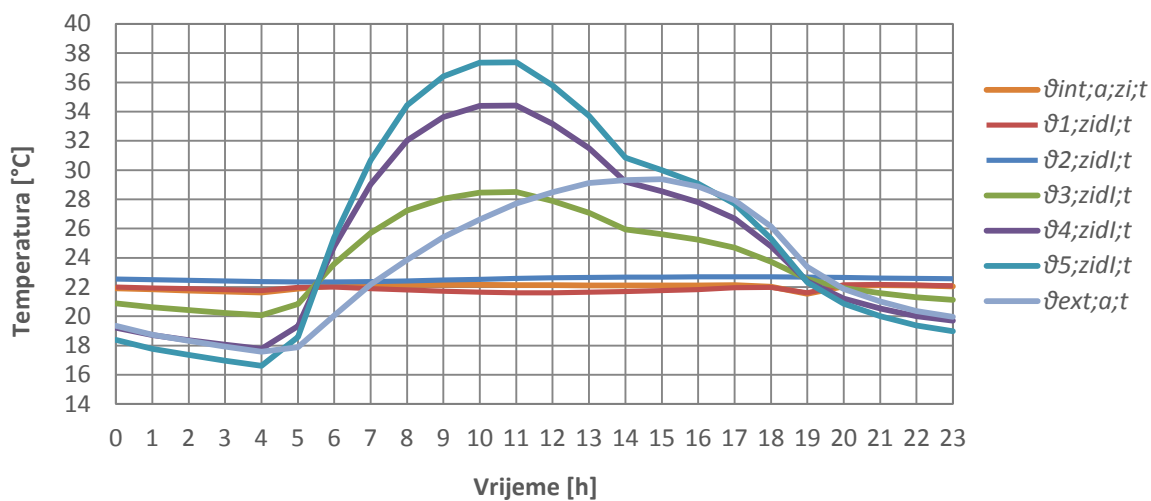
Dijagram 21. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u kolovožu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



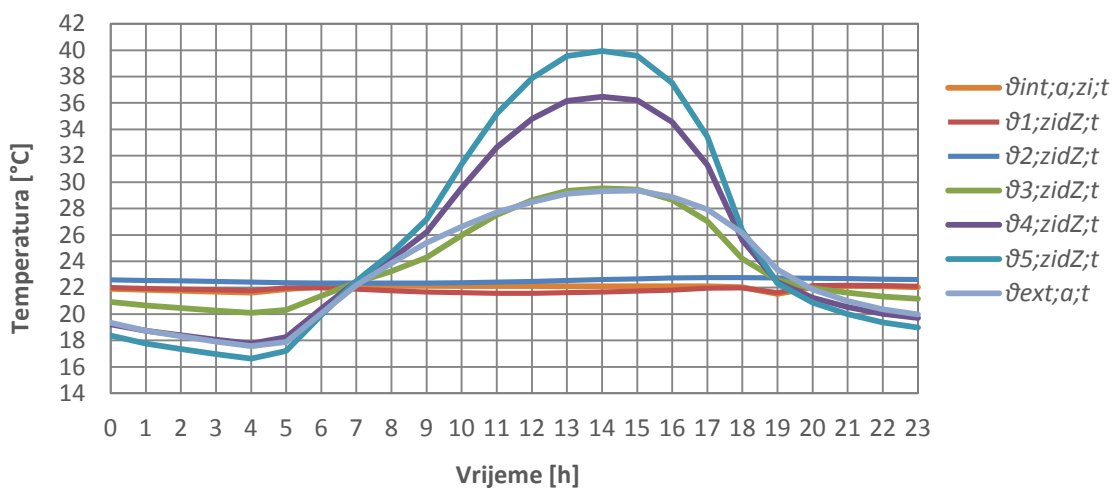
Dijagram 22. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema sjeveru za uprosječni dan u kolovozu



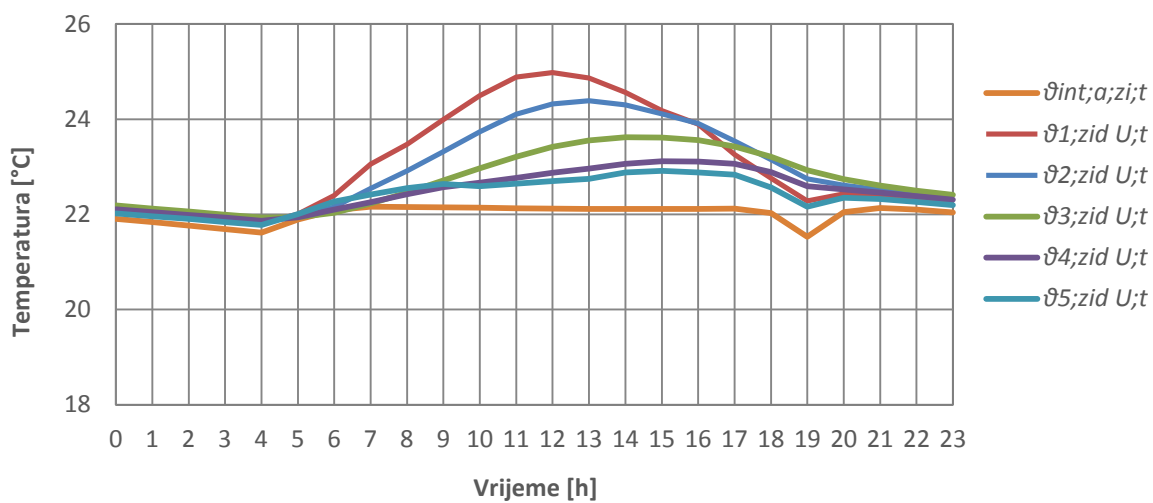
Dijagram 23. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema jugu za uprosječni dan u kolovozu



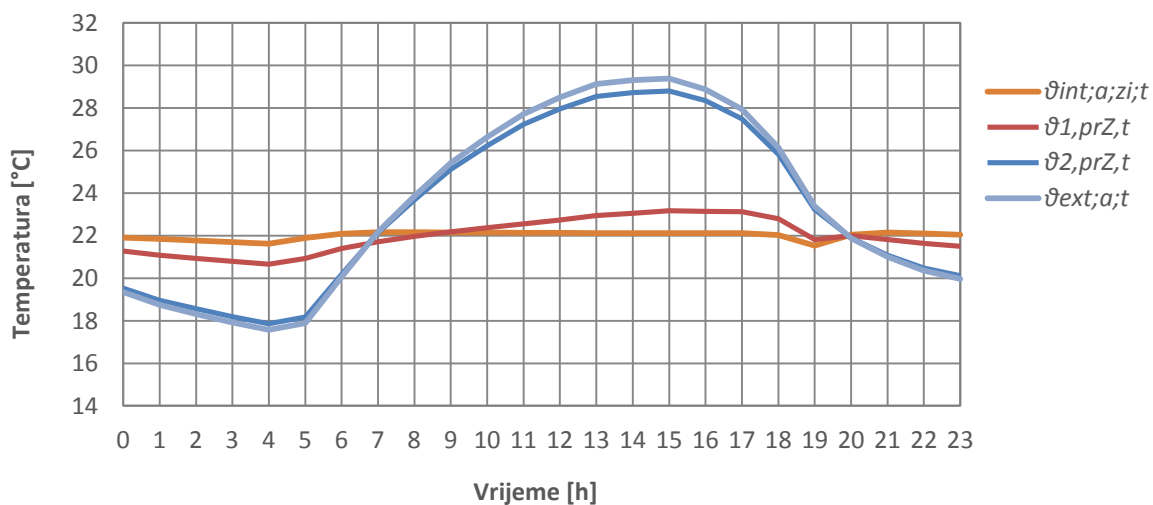
Dijagram 24. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema istoku za uprosječni dan u kolovozu



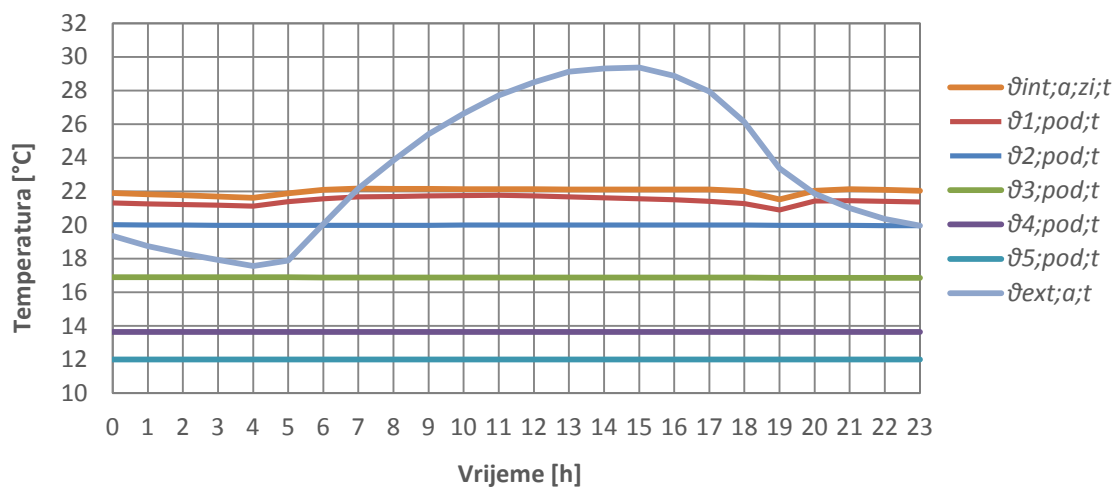
Dijagram 25. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova vanjskog zida orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u kolovozu



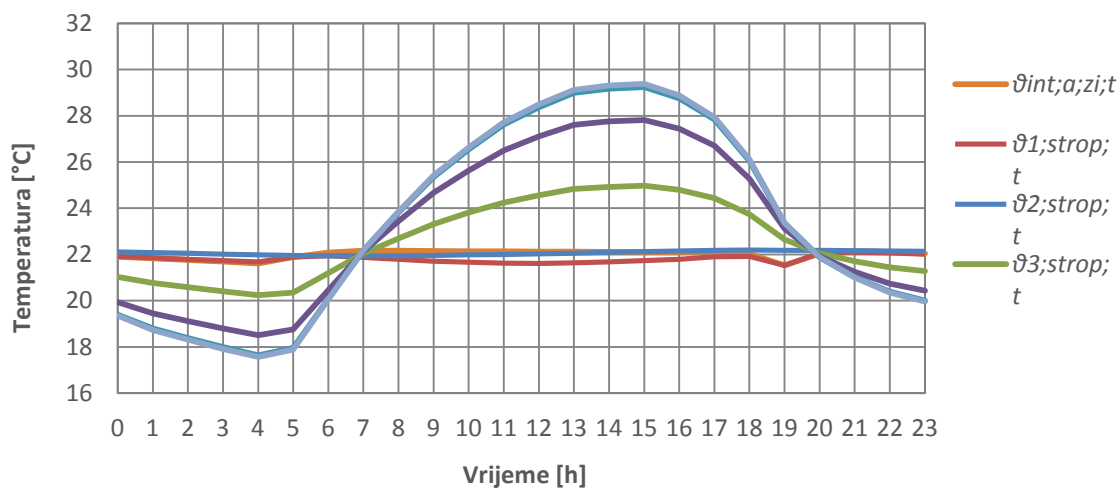
Dijagram 26. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova unutarnjeg zida za uprosječni dan u kolovozu



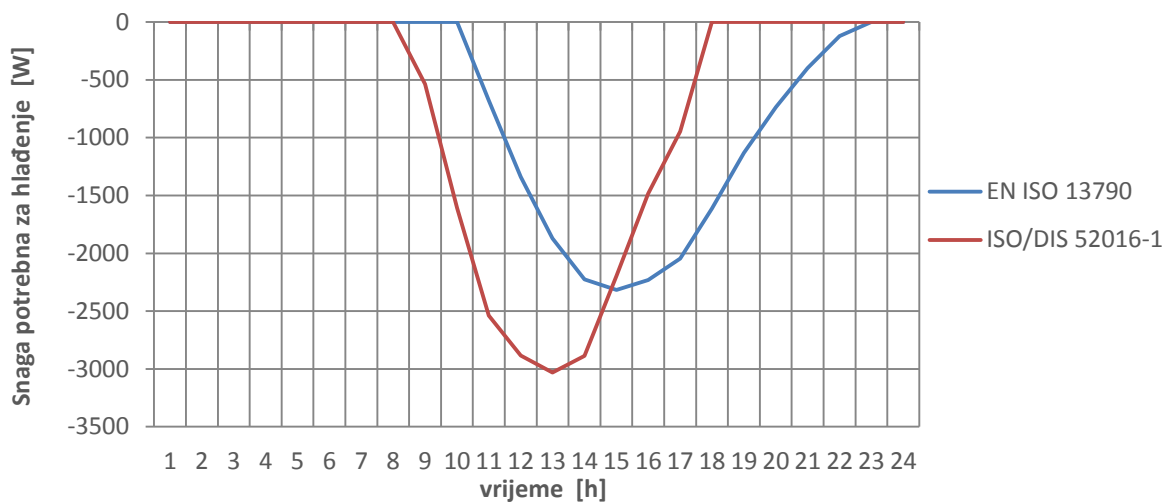
Dijagram 27. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova prozora orijentiranog prema zapadu za uprosječni dan u kolovozu



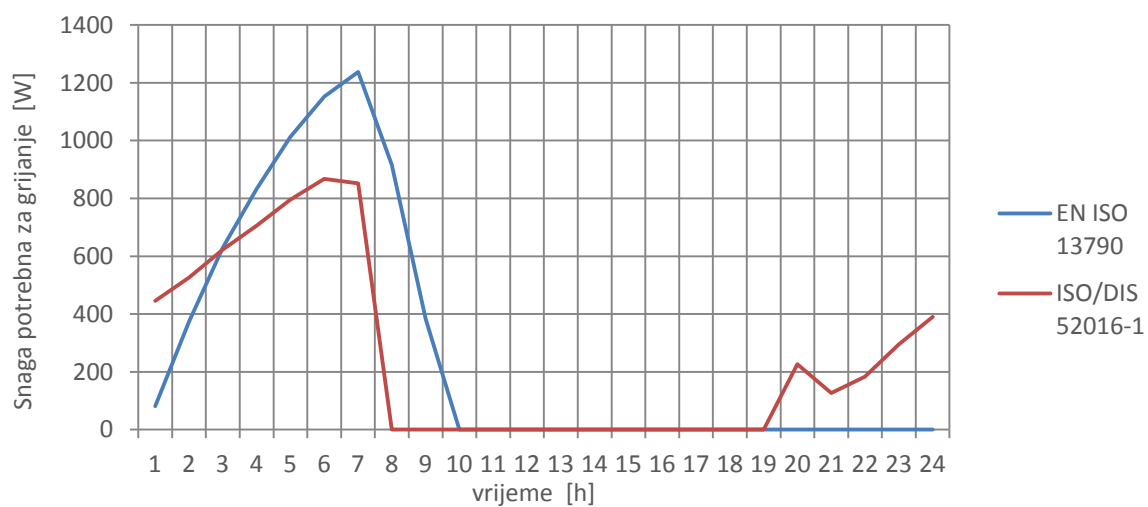
Dijagram 28. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova poda za uprosječni dan u kolovozu



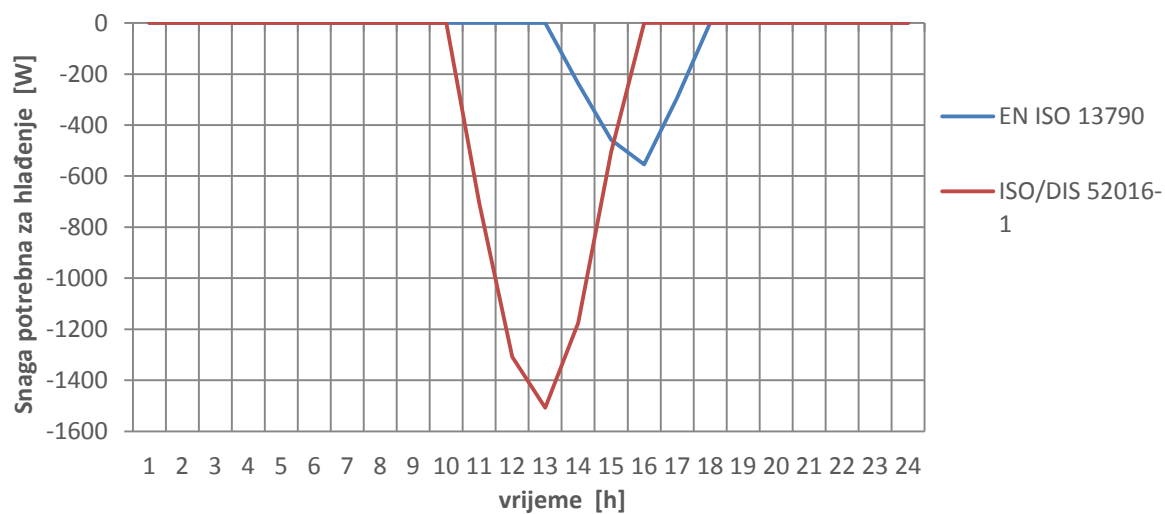
Dijagram 29. Dnevne raspodjele temperatura svih čvorova stropa za uprosječni dan u kolovozu



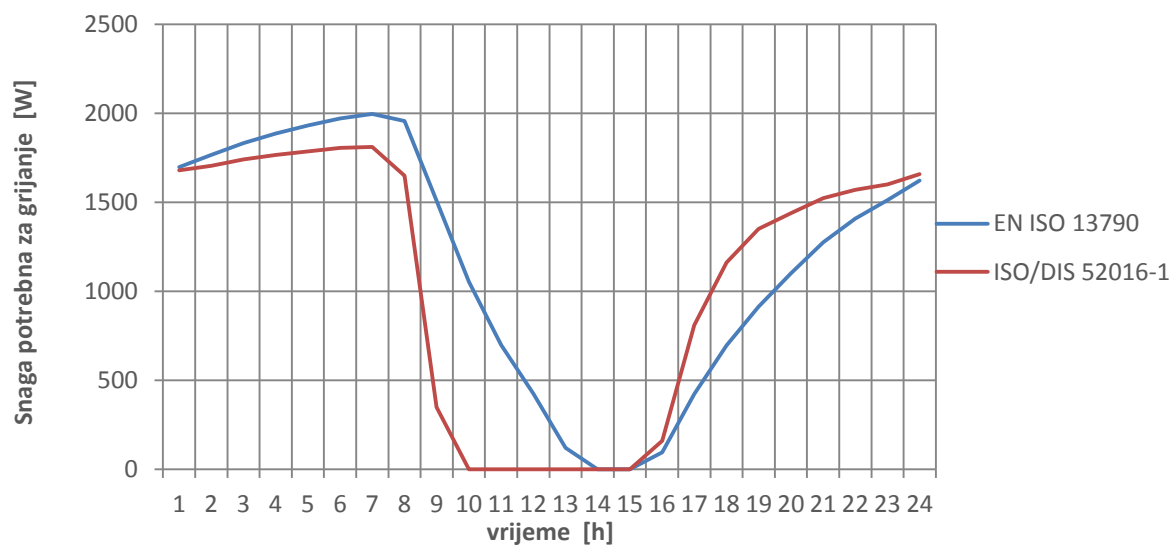
Dijagram 30. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u rujnu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



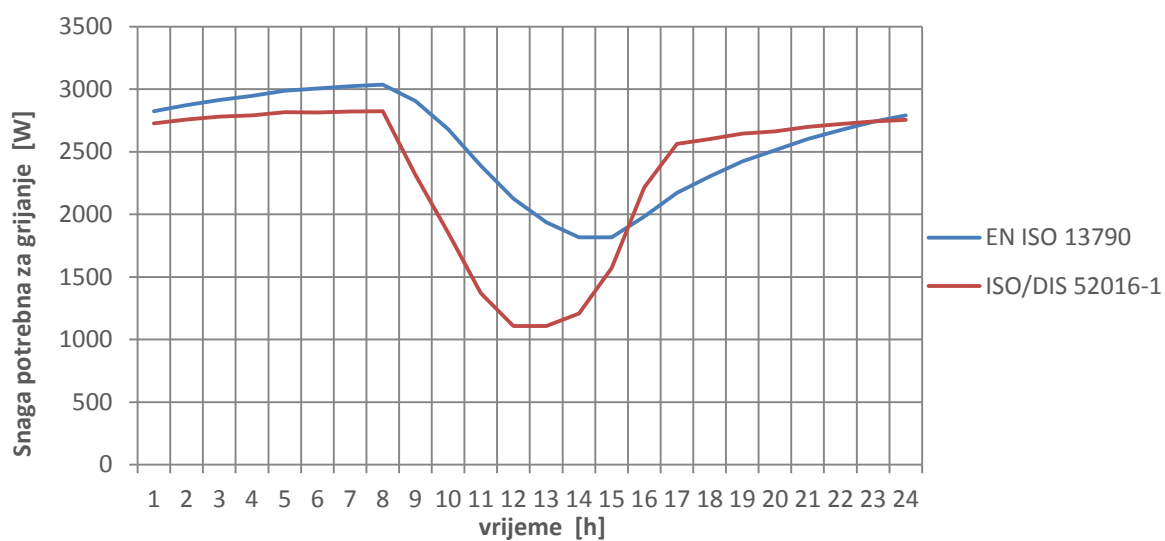
Dijagram 31. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u listopadu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



Dijagram 32. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u listopadu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790



Dijagram 33. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u studeni prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790

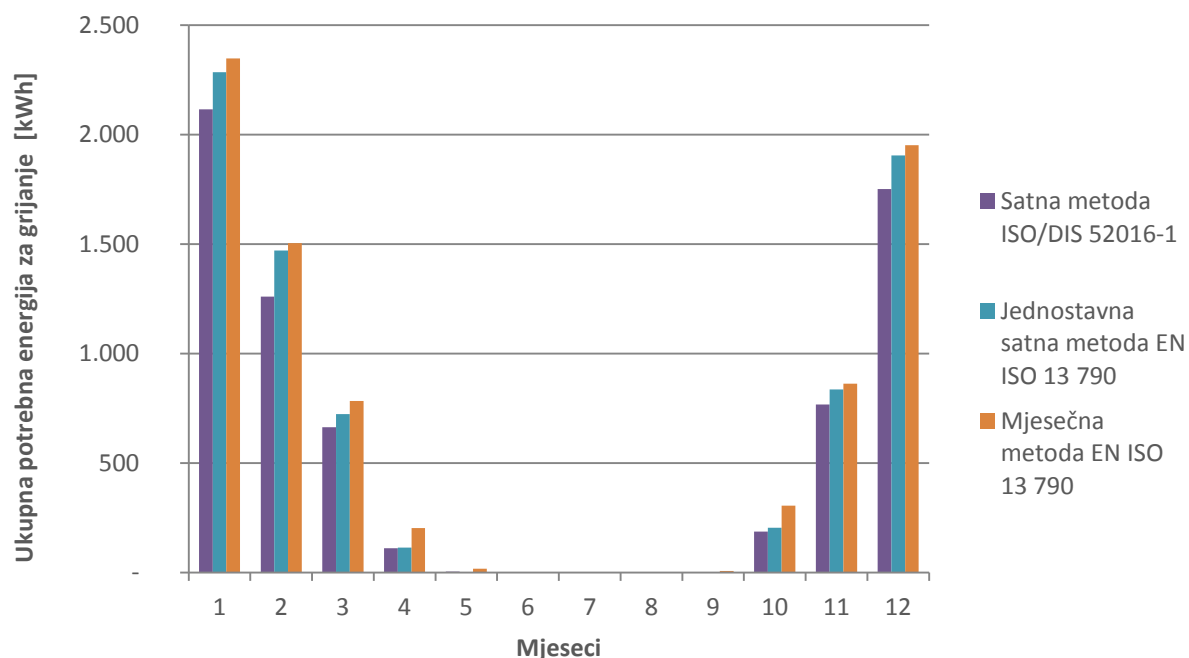


Dijagram 34. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u prosincu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790

Sljedeći dijagrami prikazuju usporedbu rezultata satnog proračuna potrebne toplinske energije za kontinuirano grijanje i hlađenje za opisanu zgradu/kuću prema „satnoj“ metodi prema normi ISO 52016-1, „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi prema normi EN ISO 13790.

Tablica 14. Rezultati potrebne toplinske energije za grijanje

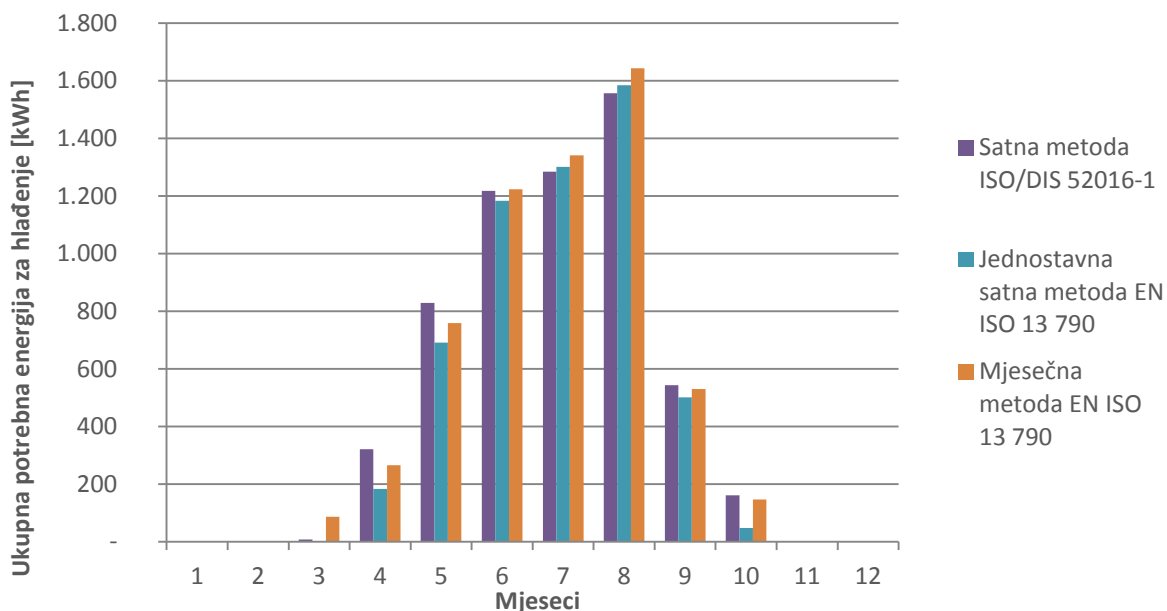
Potrebna toplinska energija za grijanje [kWh]				Odstupanja	
Mjeseci	Satna metoda ISO/DIS 52016-1	Jednostavna satna metoda EN ISO 13790	Mjesečna metoda EN ISO 13790	ISO/DIS 52016-1/ Jednostavna satna metoda EN ISO 13790	ISO/DIS 52016-1/ Mjesečna metoda EN ISO 13790
-	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]
siječanj	2116	2286	2348	7	10
veljača	1260	1471	1504	14	16
ožujak	665	724	784	8	15
travanj	112	114	203	2	45
svibanj	4	0	18	-	76
lipanj	0	0	0	-	-
srpanj	0	0	0	-	-
kolovoz	0	0	0	-	-
rujan	0	0	8	-	100
listopad	187	205	305	9	39
studen	767	837	862	8	11
prosinac	1751	1906	1952	8	10
ukupno	6862	7543	7984	9	14
[kWh/m ²]	64	70	74	9	14



Dijagram 35. Usporedba potrebne toplinske energije za grijanje za tri metode

Tablica 15. Rezultati potrebne toplinske energije za hlađenje

Potrebna toplinska energija za hlađenje [kWh]				Odstupanja	
Mjeseci	Satna metoda ISO/DIS 52016-1	Jednostavna satna metoda EN ISO 13790	Mjesečna metoda EN ISO 13790	ISO/DIS 52016-1/ Jednostavna satna metoda EN ISO 13790	ISO/DIS 52016-1/ Mjesečna metoda EN ISO 13790
-	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]
siječanj	0	0	0	-	-
veljača	0	0	0	-	-
ožujak	7	0	86	-	91
travanj	321	183	265	76	21
svibanj	829	692	759	20	9
lipanj	1218	1183	1224	3	0
srpanj	1284	1301	1342	1	4
kolovoz	1557	1585	1644	2	5
rujan	543	501	530	8	2
listopad	161	48	147	238	10
studeni	0	0	0	-	-
prosinac	0	0	0	-	-
ukupno	5920	5493	6046	8	1
[kWh/m ²]	55	51	56	8	1



Dijagram 36. Usporedba potrebne toplinske energije za hlađenje za tri metode

Iz usporedbe rezultata ukupne potrebne toplinske energije za grijanje prema „satnoj“ metodi po normi ISO 52016, „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi prema normi EN ISO 13790 možemo zaključiti da proračun po normi ISO 52016 uvijek daje manju potrebnu energiju za grijanje za svaki mjesec. Značajnija odstupanja „satne“ metode u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu dolaze do izražaja u veljači (14%). U ostalim mjesecima odstupanja su oko 8%. Značajnija odstupanja „satne“ metode u odnosu na „mjesečnu“ metodu dolaze do izražaja u travnju, svibnju, rujnu i listopadu. U ostalim mjesecima odstupanja su oko 12,5%.

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje „satnom“ metodom iznosi 6862 kWh, odnosno 64 kWh/m². Odstupa u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu za 9% (7543 kWh, odnosno 70 kWh/m²), a u odnosu na „mjesečnu“ metodu za 14% (7984 kWh, odnosno 74 kWh/m²). Isto tako, postoje odstupanja ukupne potrebne toplinske energije za grijanje između „jednostavne satne“ i „mjesečne“ metode koja su izražena u travnju, svibnju, rujnu i listopadu.

Iz usporedbe rezultata ukupne potrebne toplinske energije za hlađenje prema „satnoj“ metodi po normi ISO 52016, „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi prema normi EN ISO 13790 možemo zaključiti da proračun po normi ISO 52016 daje manju potrebnu toplinsku energiju za hlađenje za lipanj, srpanj i kolovoz. U odnosu na „satnu“ metodu odstupanje iznosi oko 2% manje potrebne toplinske energije za hlađenje, a u odnosu na „mjesečnu“ metodu oko 3%. Značajnija odstupanja su u ožujku, travnju i listopadu. Odstupanja „satne“ metode u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu dolaze do izražaja u travnju svibnju i ponajviše u listopadu (238%). U lipnju, srpnju, kolovozu i rujnu oni su oko 4%. Odstupanja „satne“ metode u odnosu na „mjesečnu“ metodu izražena su u ožujku (91%), travnju i listopadu. U ostalim mjesecima odstupanja su oko 4,3%. Možemo zaključiti da su najveća odstupanja ukupne potrebne toplinske energije za hlađenje u prijelaznim mjesecima kao što su travanj i listopad.

Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje „satnom“ metodom iznosi 5920 kWh, odnosno 55 kWh/m². Odstupa u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu za 8% (5493 kWh, odnosno 51 kWh/m²), a u odnosu na „mjesečnu“ metodu za 1% (6046 kWh, odnosno 56 kWh/m²).

6. ANALIZA DINAMIČKE METODE PRORAČUNA POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ZA ZGRADU PREMA NORMI ISO/DIS 52016 -1

Iz usporedbe rezultata ukupne potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje po mjesecima prema „satnoj“ metodi (norma ISO 52016) „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi (norma EN ISO 13790) možemo zaključiti da rezultati po normi ISO 52016 daju relativno dobre i slične rezultate po mjesecima kao „jednostavna satna“ i „mjesečna“ metoda. No, ako bismo analizirali rezultate potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje za uprosječene dane po mjesecima u godini prema dijagramima (2),(14)-(21),(30)-(34) prema ISO 52016 i EN ISO 13790, odstupanja su znatna. Krivulje rezultata prema ISO 52016 i EN ISO 13790 odstupaju u tijeku krivulja, amplitudi i trenutku vršnog opterećenja. Bitno je naglasiti su se u proračunu prema normi ISO 52016 koristili ulazni podaci koji su definirani tom normom.

Stoga su u ovom poglavlju analizirani slučajevi sa različitim ulaznim podacima čija je svrha bila približiti ulazne podatke korištene u proračunu prema ISO 52016 prema ulaznim podacima korištenim u proračunu prema EN ISO 13790, u cilju eliminacije odstupanja između krivulja i pronalasku optimalnog rješenja. Analizirano je 5 različitih slučajeva:

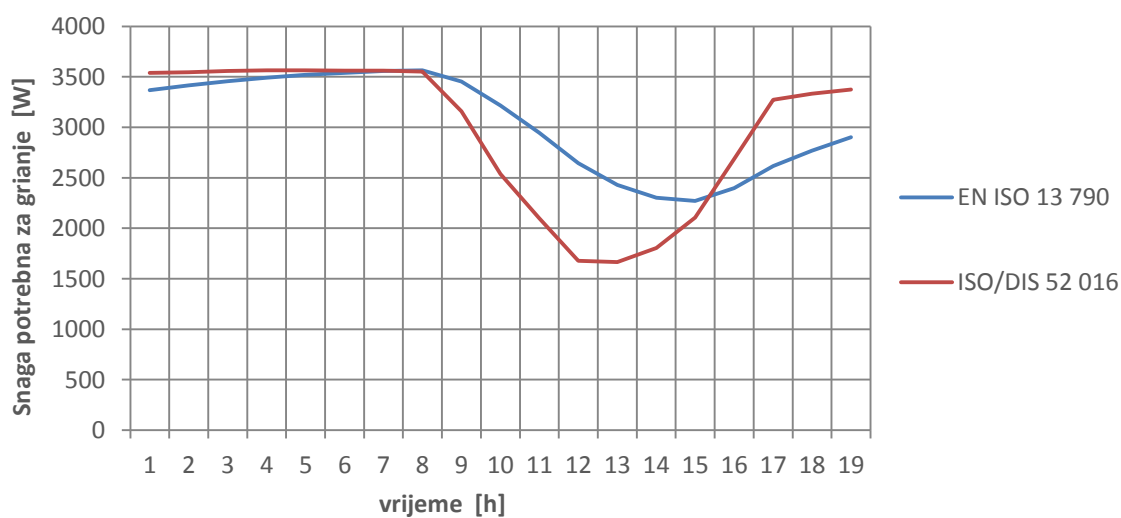
1. slučaj

U naslovu „Distribucija toplinskih i solarnih svojstava preko čvorova“, prema formulama (17) i (18), dana je raspodjela toplinskih otpora po čvorovima svakog neprozirnog građevnog elementa. Toplinski otpori po čvorovima za svaki građevni element raspoređeni su tako da su na dva vanjska čvora ukupni toplinski otpori po $R_{pti}/6$, dok su na dva unutarnja čvora toplinski otpori $R_{pti}/3$. Dakle najveći toplinski otpori su u središnjem dijelu građevnog elementa. To ne odgovara stvarnim zadanim otporima po građevnim slojevima. Stoga su u ovom slučaju za vanjski zid, pod i strop korišteni stvarni toplinski otpori po čvorovima koji odgovaraju raspoređenim slojevima. Prema formulama (19)-(22), toplinski kapaciteti mogu biti jednoliko raspoređeni ili smješteni samo na jedan čvor. U ovom slučaju raspoređeni su po čvorovima koji odgovaraju raspoređenim građevnim slojevima.

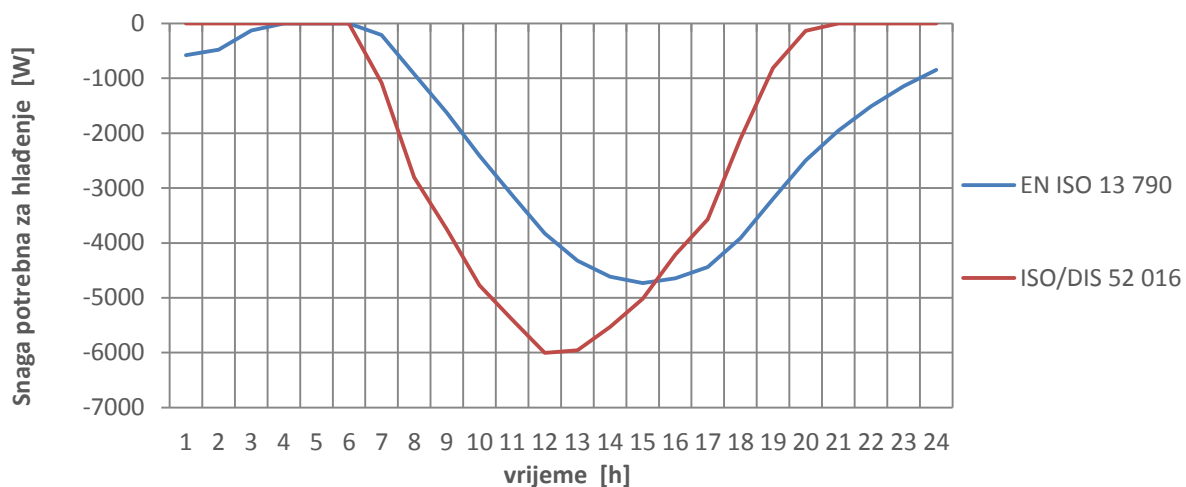
Tablica 16. Toplinski otpori i kapaciteti za 1. slučaj

		Toplinski otpor po čvorovima prema normi 52016	Toplinski otpor raspoređen prema 1. slučaju		Toplinski kapacitet prema normi 52016	Toplinski kapacitet raspoređen prema 1. slučaju
vanjski zid	R_{pli1}	0,5	0,2	κ_{pli2}	269246	112812
	R_{pli2}	1,0	0,2	κ_{pli3}	0	111712
	R_{pli3}	1,0	0,6	κ_{pli4}	0	44716
	R_{pli4}	0,5	2,1			
pod	R_{pli1}	0,4	2,0	κ_{pli2}	354683,3	299140
	R_{pli2}	0,8	0,1	κ_{pli3}	354683,3	407910
	R_{pli3}	0,8	0,2	κ_{pli4}	354683,3	357000
	R_{pli4}	0,4	0,2			
strop	R_{pli1}	0,4	0,2	κ_{pli2}	267305,2	357000
	R_{pli2}	0,8	0,2	κ_{pli3}	0	407910
	R_{pli3}	0,8	0,1	κ_{pli4}	0	299140
	R_{pli4}	0,4	2,0			

Rezultati 1. slučaja



Dijagram 37. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u siječnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 1. slučaju



Dijagram 38. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u kolovozu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 1. slučaju

Iz usporedbe 37. dijagrama u ovom slučaju i 2. dijagrama u 5. poglavlju za uprosječni dan u siječnju možemo primijetiti bitnu razliku u tijeku krivulja. Unatoč pretpostavkama u 1. slučaju, krivulje se i dalje nisu uskladile u tijeku i u trenutku pojave vršnog opterećenja. Iz usporedbe 38. dijagrama u ovom slučaju i 21. dijagrama u 5. poglavlju za uprosječni dan u kolovozu razlike nema.

Tablica 17. Rezultati potrebne toplinske energije za grijanje za 1. slučaj

Potrebna toplinska energija za grijanje [kWh]				Odstupanja	
Mjeseci	Satna metoda ISO 52016 – rezultati iz 5. poglavlja	Jednostavna satna metoda EN ISO 13790 – rezultati iz 5. poglavlja	Satna metoda ISO 52016 – rezultati za 1. slučaj	Satna metoda ISO 52016 – rezultati iz 5. Poglavlja/ Satna metoda ISO 52016 – rezultati za 1. slučaj	Jednostavna satna metoda EN ISO 13790 – rezultati iz 5. poglavlja ja/ Satna metoda ISO 52016 – rezultati za 1. slučaj
-	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]
siječanj	2116	2286	2274	7	1
veljača	1260	1471	1388	9	6
ožujak	665	724	767	13	6
travanj	112	114	158	29	25
svibanj	4	0	3	15	100
lipanj	0	0	0	-	-
srpanj	0	0	0	-	-
kolovoz	0	0	0	-	-
rujan	0	0	0	-	-
listopad	187	205	291	36	30
studenj	767	837	858	11	2
prosinac	1751	1906	1899	8	0,4
ukupno	6862	7543	7638	10	1
[kWh/m ²]	64	70	71	10	1

Tablica 18. Rezultati potrebne toplinske energije za hlađenje za 1. slučaj

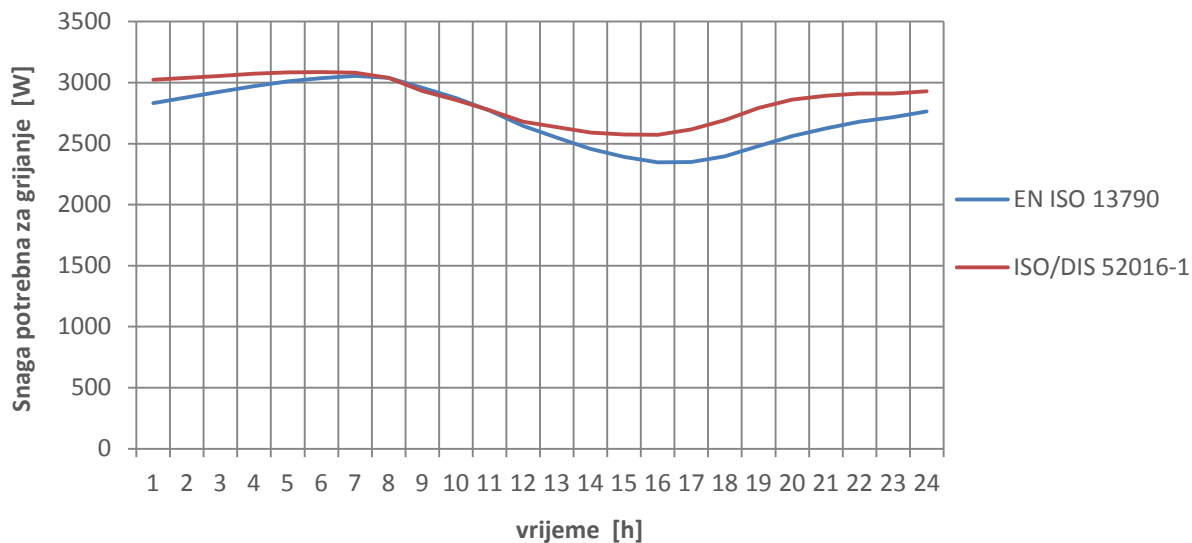
Potrebna toplinska energija za hlađenje [kWh]				Odstupanja	
Mjeseci	Satna metoda ISO 52016 – rezultati iz 5. poglavlja	Jednostavna satna metoda EN ISO 13790 – rezultati iz 5. poglavlja	Satna metoda ISO 52016 – rezultati za 1. slučaj	Satna metoda ISO 52016 – rezultati iz 5. Poglavlja/ Satna metoda ISO 52016 – rezultati za 1. slučaj	Jednostavna satna metoda EN ISO 13790 – rezultati iz 5. poglavlja ja/ Satna metoda ISO 52016 – rezultati za 1. slučaj
-	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]
siječanj	0	0	0	-	-
veljača	0	0	0	-	-
ožujak	7	0	8	15	100
travanj	321	183	282	14	54
svibanj	829	692	801	4	16
lipanj	1218	1183	1226	1	4
srpanj	1284	1301	1306	2	0,3
kolovoz	1557	1585	1586	2	0,05
rujan	543	501	518	5	3
listopad	161	48	119	36	147
studen	0	0	0	-	-
prosinac	0	0	0	-	-
ukupno	5920	5493	5844	1	6
[kWh/m ²]	55	51	54	1	6

Iz usporedbe dijagrama možemo zaključiti da novom i drugačijom raspodjelom toplinskih otpora i toplinskih kapaciteta ne dobivamo isti tijek krivulja, no dobivamo manja odstupanja u usporedbi ukupne godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje.

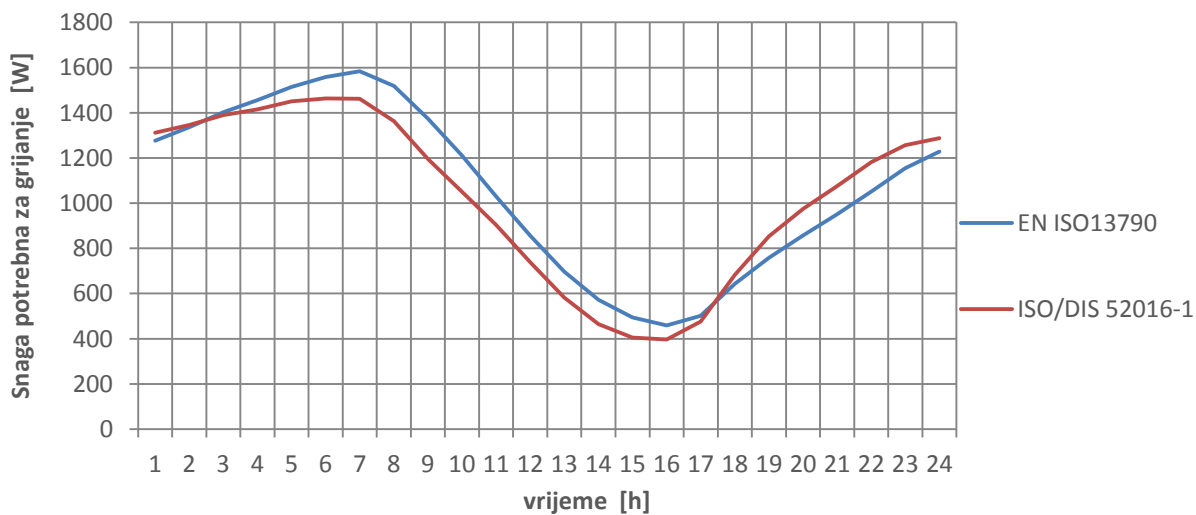
2. slučaj

Krivulje prema normi ISO 52016 i prema normi EN ISO 13790 odstupaju najviše u trenutku pojave vršnog opterećenja, koji kod norme ISO 52016 odgovara najjačem solarnom zračenju. Ukupno solarno zračenje se u dvije norme uzima različito u obzir. U normi ISO 52016 raspodjela ukupnog solarnog zračenja kroz prozirne elemente se uzima u obzir zasebno za sve elemente zgrade. Svi dobici od ukupnog solarnog zračenja djeluju odmah direktno na plohe i unutarnji zrak. Posebno se uzima u obzir konvektivni dio solarnog zračenja prema unutarnjem zraku i udio ukupnog solarnog zračenja koji se zračenjem prenosi na unutarnje plohe zgrade, što u normi EN ISO 13790 ne postoji. U normi EN ISO 13790 konvektivni dio ukupnog solarnog zračenja na unutarnji zrak ne postoji, već je ukupno solarno zračenje kroz prozirne elemente raspodijeljeno samo na neprozirne dijelove zgrade uz određene empirijske faktore. Stoga je u 2. slučaju analizirana usporedba rezultata potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje prema normi ISO 52016 i EN ISO 13790 bez solarnog zračenja kroz prozirne elemente zgrade koji čine oko 98% ukupnog solarnog zračenja. Raspodjela toplinskih otpora i toplinskih kapaciteta za 2. slučaj je ista kao u 1. slučaju.

Rezultati 2. slučaja



Dijagram 39. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u veljači prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 za 2. slučaj



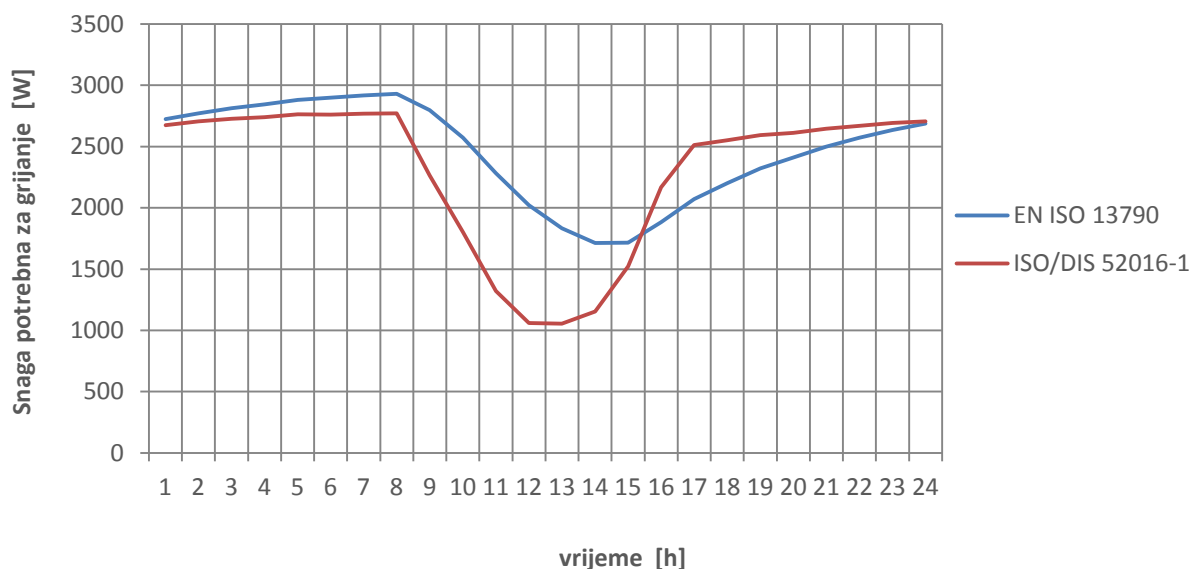
Dijagram 40. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u listopadu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 2. slučaju

Možemo primijetiti da su se krivulje u 39. i 40. dijagramu uskladile u tijeku i trenutku vršnog opterećenja. Tijek krivulja po normi ISO 52016 i normi EN ISO 13790 za 2. slučaj je isti za siječanj, ožujak, travanj, studeni i prosinac. U ljetnim mjesecima postoje odstupanja. Iz usporedbe dijagrama možemo zaključiti da raspodjela ukupnih solarnih dobitaka kroz prozirne elemente zgrade ima najznačajniji utjecaj na ukupnu potrebnu toplinsku energiju za grijanje odnosno na tijek krivulja prema normi ISO 52016 i EN ISO 13790. Po normi EN ISO 13790 solarni dobici kroz prozirne elemente se ne mogu na drugačiji način raspodijeliti zbog cjelokupne definirane konstrukcije proračuna. U svakom slučaju, solarni dobici kroz prozirne elemente se moraju uzeti u obzir, stoga će se analizirati ostali slučajevi proračuna u svrhu pronalaska ulaznih podataka koji se mogu prilagoditi i uskladiti za oba proračuna normi.

3. slučaj

Operativna temperatura prema normi ISO 52016 -1 rezultat je srednje unutarnje temperature zraka $\theta_{int;a;zi;t}$ i srednje površinske temperature svih ploha $\theta_{int;r,mn;zi;t}$ koje okružuju proračunsku zonu. Prema njoj se računa stvarna potreba $Q_{HC,nd}$. Prema normi EN ISO 13790, unutarnja temperatura zraka $\theta_{int;a;zi;t}$ diktira stvarnu potrebu $Q_{HC,nd}$. Stoga je u 3. slučaju u proračunu prema ISO 52016 unutarnja temperatura zraka bila operativna temperatura kao u normi EN ISO 13790.

Rezultati 3. slučaja



Dijagram 41. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u prosincu prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 3. slučaju

Uspoređujući dijagrame rezultata po 3. slučaju i dijagrame rezultata u 5. poglavlju, možemo uočiti da promjena u tijeku krivulja nema. Iako je pretpostavka za usklađenje operativne temperature u oba proračuna dobra, ona ne rezultira željenim tijekom krivulja.

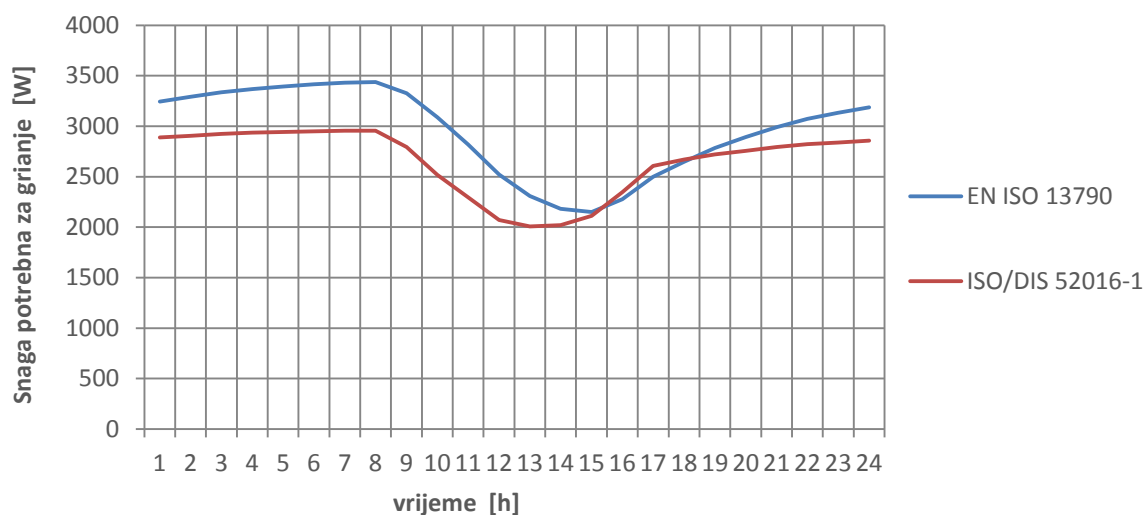
4. slučaj

Ulazni podaci u proračunu prema normi ISO 52016 izjednačeni su po ulaznim podacima u proračunu prema normi EN ISO 13790. Bitno je naglasiti da su usklađeni samo oni ulazni podaci koji s istim pretpostavkama i s istim vrijednostima ulaze u proračun. Ostali se ulazni podaci zbog načina konstruiranja proračuna po normi EN ISO 13790 nisu mogli uzeti u obzir. Raspodjela toplinskih otpora i toplinskih kapaciteta jednaka je 1. slučaju. Odnosno:

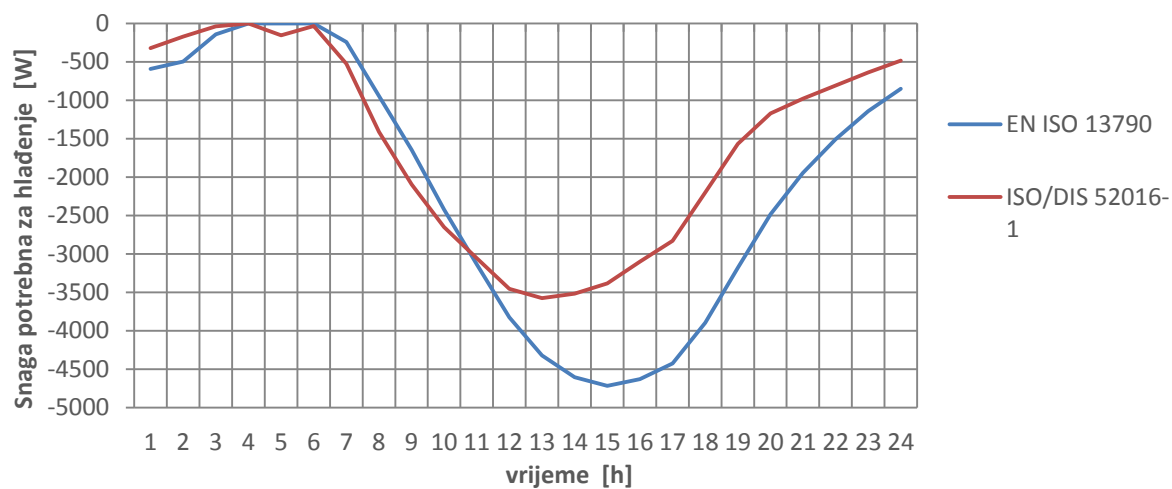
Tablica 19. Ulazni podaci za 3. slučaj

	Ulazni podaci za proračun po EN ISO 13790	Ulazni podaci za proračun po ISO 52016	Prilagođeni ulazni podaci za ISO 52016 po normi EN ISO 13790 za 4. slučaj
$f_{int,c}$	0,5	0,4	0,5
$f_{sol,c}$	0,0	0,4	0,0
$f_{sol,r} = 1 - f_{sol,c} =$	1	0,6	1
$f_{H/C,c}$	1	0,4	1
$\theta_{int;op;zi;t}$	$\theta_{int;op;zi;t} = \theta_{int;a;zi;t}$	$\theta_{int;op;zi;t} = \frac{\theta_{int;a;zi;t} + \theta_{int;r,mn;}}{2}$	$\theta_{int;op;zi;t} = \theta_{int;a;zi;t}$

Rezultati 4. slučaja



Dijagram 42. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječeni dan u siječnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 4. slučaju



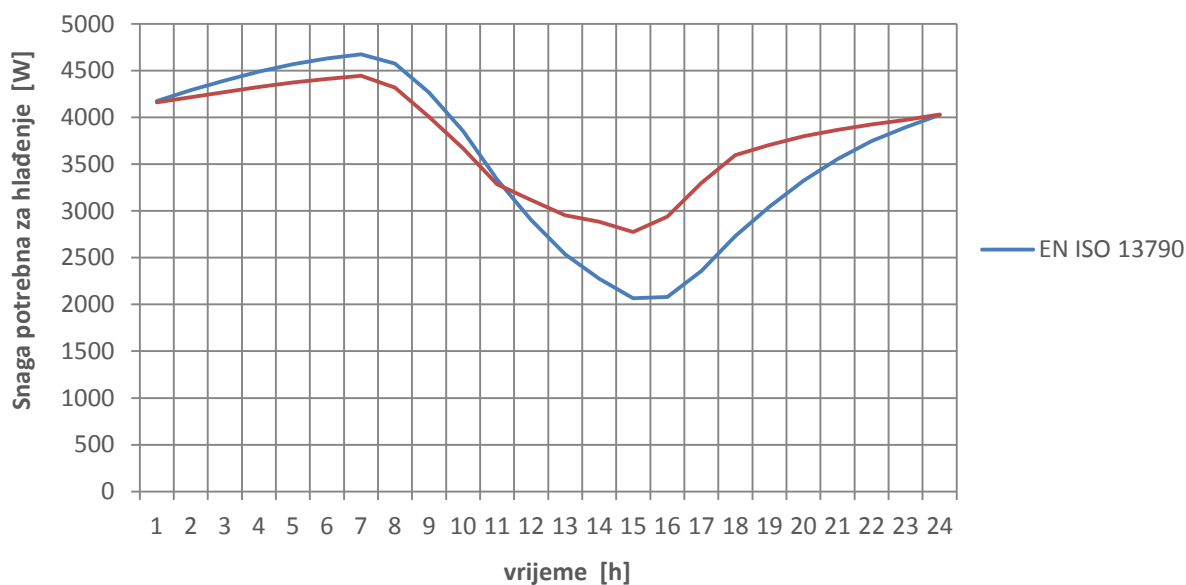
Dijagram 43. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u srpnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 4. slučaju

Uspoređujući dijagrame uočavamo da je potrebna manja toplinska energija za hlađenje prema ISO 52016 prema 4. slučaju u odnosu na prijašnji slučaj. Ovakve situacije su slične i za ostale ljetne mjesece. Odstupanja između krivulja su velika te ne rezultiraju uspješno.

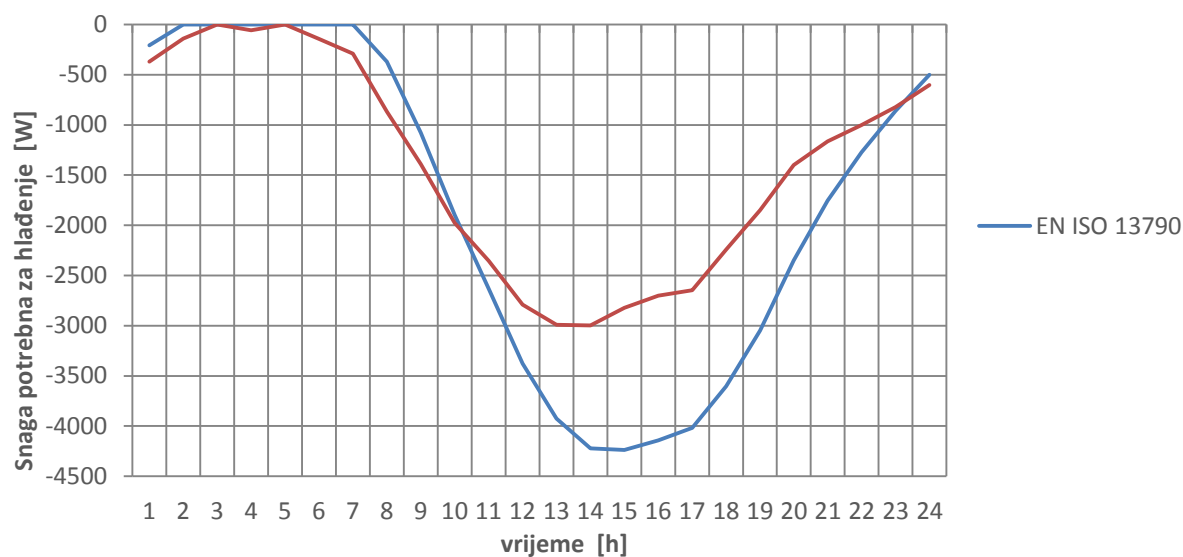
5. slučaj

Analiziran je model zgrade/obiteljske kuće koja je opisana u 5. poglavlju, ali bez vanjske zaštite vanjskog zida, odnosno bez ekspandiranog polistirena EPS-a (i bez oba sloja polimernog cementnog ljepila) koji posjeduje najveći toplinski otpor. Vanjski zid se u tom slučaju sastojao se samo od vapneno-cementne žbuke, šupljih blokova od gline te silikatne žbuke, dok su građevni slojevi za sve ostale građevne elemente ostali isti. U ovom slučaju toplinski otpori i toplinski kapaciteti raspoređeni su po pretpostavkama za čvorove kao u 1. slučaju. Pretpostavka je bila da se uz manji broj građevnih slojeva i veći broj čvorova unutar građevnog elementa pokuša dobiti veća toplinska akumulacija između prva dva čvora vanjskog zida.

Rezultati 5. slučaja



Dijagram 44. Rezultati potrebne snage za grijanje za uprosječni dan u veljači prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 5. slučaju



Dijagram 45. Rezultati potrebne snage za hlađenje za uprosječni dan u srpnju prema ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790 prema 5. slučaju

Prema dijagramima možemo zaključiti da se vršno opterećenje po ISO 52016 i EN ISO 13790 prema 5. slučaju pojavljuje u istom trenutku iako krivulje nisu iste u tijeku. Time smo dobili akumulaciju u zidovima jer je ukupni toplinski otpor zidova manji zbog izbacivanja EPS-a. Znači da su toplinski otpori između čvorova manji, čime se omogućuje lakši prolazak topline i njena lakša akumulacija.

7. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog diplomskog rada potrebno je bilo izraditi algoritam za proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje koristeći satni dinamički model iz nove norme ISO/DIS 52016-1. Nakon izrade algoritma, provedena je procjena valjanosti dinamičke metode proračuna sukladno primjeru danom u normi ISO/DIS 52017-1. Rezultati procjene valjanosti dinamičke metode pokazali su sukladnost rezultatima danim u normi ISO/DIS 52017-1.

Temeljem razvijenog algoritma proveden je proračun potrebne toplinske energije za grijanje i hlađenje za odabrani model zgrade/kuće. Određena je potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje za uprosječni dan u svakom mjesecu u godini. Rezultati su uspoređeni s proračunima prema „jednostavnoj satnoj“ i „mjesečnoj“ metodi prema normi EN ISO 13790. Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prema normi ISO/DIS 52016 iznosi 64 kWh/m^2 . Odstupanja u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu iznose 9% (odnosno 70 kWh/m^2), a odstupanja u odnosu na „mjesečnu“ metodu iznose 14% (odnosno 74 kWh/m^2). Ukupna godišnja potrebna toplinska energije za hlađenje „satnom“ metodom iznosi 55 kWh/m^2 . Odstupanja u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu iznose 8% (odnosno 51 kWh/m^2), a odstupanja u odnosu na „mjesečnu“ metodu iznose 1% (odnosno 56 kWh/m^2). Bitno je naglasiti da osim odstupanja u ukupnoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje i hlađenje po mjesecima, postoji i odstupanje u tijeku krivulja po mjesecima. Odstupanja se odnose na trenutke pojave vršnog opterećenja između krivulja po normi ISO/DIS 52016-1 i EN ISO 13790, odnosno postoji fazni pomak između krivulja.

Nakon dobivenih rezultata proveden je niz slučajeva za analizu odstupanja rezultata po „satnoj“ metodi prema normi ISO/DIS 52016-1 u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu prema normi EN ISO 13790. Utvrđeno je da usklađivanjem nekih ulaznih podataka, u obje metode, rezultati se poboljšavaju, no i dalje su prisutna odstupanja. Odstupanja ukupne godišnje potrebne toplinske energije za grijanje prema „satnoj“ metodi u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu iznose 1%, odstupanja ukupne godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje prema „satnoj“ metodi u odnosu na „jednostavnu satnu“ metodu iznose 6%.

LITERATURA

- [1] ISO/DIS 52016-1 Energy performance of buildings – Calculation of energy needs for heating and cooling, internal temperatures and cooling load in a building or building zone – Part 1: Calculation procedures, 2014.
- [2] ISO/DIS 52016-2 Energy performance of buildings – Calculation of energy needs for heating and cooling, internal temperatures and cooling load in a building or building zone – Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017 -1, 2014.
- [3] ISO/DIS 52017-1 Energy performance of buildings – Calculation of the dynamic thermal balance in a building zone – Part 1: Generic calculation , 2014.
- [4] EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings – Calculation of energy use of space heating and cooling, 2008.
- [5] Horvat I.: Dinamička potrošnja primarne energije u stambenoj zgradi, Zagreb, 2014.
- [6] DHZ: Priprema baze klimatskih podataka potrebnih za proračun energetske svojstava zgrade, Zagreb, 2013.
- [7] Soldo V., Novak S., Horvat I: Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Zagreb, 2014.

PRILOZI

Prilog [1] VBA makronaredba u Excelu za rješavanje niza matrica i ispisivanje rezultirajućih temperatura

```

Sub startProcess()
    Dim selected As Range, lastRow As Long, firstCol As Long, lastRowA As Long, i As Long, k As Long, c As Long
    Dim count As Long, stupac As String, Redak As Long, Stup As Long, formVal As Long
    Dim A(44, 44), B(44), X(44), REZCol As String, REZRow As Integer, REZSheet As String
    Dim msgString As Variant, oppT As Double, absHC As Double, opp0 As Double, colT As Double, heaT As Double

    Set selected = Selection
    count = 44

    REZCol = "Y"
    REZRow = 29
    REZSheet = "Proracun-1"

    firstCol = selected.Cells(1, 1).Column
    firstRow = selected.Cells(1, 1).Row
    lastCol = selected.Cells(1, selected.Columns.count).Column
    lastRow = selected.Cells(selected.Rows.count, 1).Row

    For i = firstRow To lastRow
PONOV:
        c = 1
        Stup = 1
        Redak = 1
        For k = firstCol To lastCol
            A(Redak, Stup) = Cells(i, k).Value
            If Stup >= count Then
                B(c) = Cells(i, k + 1).Value
                k = k + 1
                c = c + 1
                Redak = Redak + 1
                Stup = 1
            Else: Stup = Stup + 1
            End If
        Next
        REZRow = MATRICE.GaussElim(44, A, B, X, REZCol, REZRow, REZSheet)
        'pocinje provjera grijanja/hladenja
        absHC = Abs(ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("J" & (REZRow - 1)).Value)
        oppT = ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("R" & (REZRow - 1)).Value
        opp0 = ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("C" & (REZRow - 1)).Value
        colT = ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("G" & (REZRow - 1)).Value + 0.01
        heaT = ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("F" & (REZRow - 1)).Value - 0.01

        If absHC = 1074.82 Then
            ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("D" & (REZRow - 1)).Value = oppT
        End If

        If opp0 = 0 Then
            ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Range("C" & (REZRow - 1)).Value = oppT
        End If

        If colT < oppT Or heaT > oppT Then
            REZRow = REZRow - 1
            GoTo PONOV
        End If
    Next
End Sub

```

```

'=====
' Program: GaussElim
' This program solves system of linear equations [A]{X} = {B} using Gauss elimination method
' Programmed by: Suparerg Suksai
' http://mechanical-design-handbook.blogspot.com
' Date: 17-Feb-11
'=====

' Start solving
Public Function GaussElim(N_EQ, A, B, X, REZCol, REZRow, REZSheet) As Integer
    Dim i As Integer, ip As Integer, ie As Integer, ic As Integer
    Dim Ratio As Double
    Dim Sum As Double
    Dim stupac As Integer

    ' Perform scaling
    Call Scaling(N_EQ, A, B)

    ' Forward elimination from 1 to N_EQ-1
    For ip = 1 To N_EQ - 1
        ' Perform partial pivoting
        Call Pivot(N_EQ, A, B, ip)
        For ie = ip + 1 To N_EQ
            Ratio = A(ie, ip) / A(ip, ip)
            For ic = ip + 1 To N_EQ
                A(ie, ic) = A(ie, ic) - Ratio * A(ip, ic)
            Next ic
            B(ie) = B(ie) - Ratio * B(ip)
        Next ie
        For ie = ip + 1 To N_EQ
            A(ie, ip) = 0
        Next ie
    Next ip

    ' Back substitution

    ' Compute solution of the last equation
    X(N_EQ) = B(N_EQ) / A(N_EQ, N_EQ)

    ' Compute solutions from equation N_EQ-1 to 1
    For ie = N_EQ - 1 To 1 Step -1
        Sum = 0
        For ic = ie + 1 To N_EQ
            Sum = Sum + A(ie, ic) * X(ic)
        Next ic
        X(ie) = (B(ie) - Sum) / A(ie, ie)
    Next ie

    'Write result of vector {X}
    stupac = Range(REZCol & REZRow).Column
    stupac = stupac - 1
    For i = 1 To N_EQ
        ThisWorkbook.Sheets(REZSheet).Cells(REZRow, stupac + i) = X(i)
    Next i
    GaussElim = REZRow + 1

    Exit Function

End Function

```

```
Sub Scaling(N_EQ, A, B)
    Dim ie As Integer, ic As Integer
    Dim Big As Double, AMax As Double

    ' Perform scaling
    For ie = 1 To N_EQ
        Big = Abs(A(ie, 1))
        For ic = 2 To N_EQ
            AMax = Abs(A(ie, ic))
            If AMax > Big Then Big = AMax
        Next ic
        For ic = 1 To N_EQ
            A(ie, ic) = A(ie, ic) / Big
        Next ic
        B(ie) = B(ie) / Big
    Next ie
End Sub
```

```
Sub Pivot(N_EQ, A, B, ip)
    Dim i As Integer, j As Integer
    Dim jp As Integer
    Dim Big As Double, AMax As Double, Dummy As Double

    jp = ip
    Big = Abs(A(ip, ip))
    For i = ip + 1 To N_EQ
        AMax = Abs(A(i, ip))
        If AMax > Big Then
            Big = AMax
            jp = i
        End If
    Next i
    If jp <> ip Then
        For j = ip To N_EQ
            Dummy = A(jp, j)
            A(jp, j) = A(ip, j)
            A(ip, j) = Dummy
        Next j
        Dummy = B(jp)
        B(jp) = B(ip)
        B(ip) = Dummy
    End If
End Sub
```

Prilog [2] CD-R disk